



TUGAS AKHIR - TE141599

***ONLINE SIMULATOR* UNTUK OPERASI OPTIMUM
SISTEM TENAGA LISTRIK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
KONTINGENSI**

Kharismawan Suryandriyo
NRP 2211100028

Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., M.T
Ir. Sjamsul Anam, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE141599

***ONLINE SIMULATOR FOR POWER SYSTEM OPERATION
CONSIDERING CONTINGENCY***

Kharismawan Suryandriyo
NRP 2211100028

Supervisor
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Ir. Sjamsul Anam, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

ONLINE SIMULATOR UNTUK OPERASI OPTIMUM SISTEM TENAGA LISTRIK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KONTINGENSI

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

NIP. 197411292000121001

Dosen Pembimbing II



Ir. Sjamsul Anam, MT.

NIP. 196307251990031002

**SURABAYA
JULI, 2015**

ONLINE SIMULATOR UNTUK OPERASI OPTIMUM SISTEM TENAGA LISTRIK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KONTINGENSI

Dosen Pembimbing I : Dr. Rony Seto Wibowo, S.T.,MT.
Dosen Pembimbing II : Ir. Sjamsul Anam, MT.

Abstrak:

Pengaturan pembangkitan dan aliran daya pada sistem tenaga listrik yang baik sangat dibutuhkan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik. Pengaturan tersebut dapat dilakukan dengan cara mengatur keluaran daya aktif dan reaktif dari tiap generator dan prediksi aliran daya listrik pada setiap jaringan listrik di sistem tenaga. Tetapi Dalam proses penyaluran energi listrik dari pembangkit menuju ke konsumen atau beban banyak gangguan yang terjadi seperti lepasnya saluran transmisi, *short circuit*, sambaran petir, dan sebagainya. Pada kenyataannya, gangguan yang terjadi berupa lepasnya elemen sistem (*outage*) dalam sistem tenaga listrik adalah sesuatu yang tidak dapat sepenuhnya dihindarkan. Pada tugas akhir ini dirancang paket perangkat lunak untuk operasi optimum aliran daya pada sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan kontingensi yang terdiri dari dua perangkat lunak yaitu *Optimation Software* dan *Optimation Viewer*. Pada perangkat lunak ini memperhitungkan operasi aliran daya optimal arus bolak – balik atau disebut juga dengan *alternating current optimal power flow (ACOPF)* yang hasil perhitungannya dapat dikirim melalui internet dengan *file transfer protocol (FTP)* dengan menggunakan *ACOPF* Matpower. Hasil perhitungan *ACOPF* yang telah ter-upload kedalam server internet dapat ditinjau oleh pengguna yang perangkatnya telah terintegrasi dengan software tersebut melalui internet. Perangkat lunak pada tugas akhir ini dirancang menggunakan Matlab R2014a, *graphical user interface development environment (GUIDE)*, Corel Draw, dan Cpanel sebagai *cloud server* tempat penyimpanan data.

Kata kunci: *Optimal power flow, online software*, kontingensi, sistem tenaga listrik

ONLINE SIMULATOR FOR POWER SYSTEM OPERATION CONSIDERING CONTINGENCY

Supervisor I : Dr. Rony Seto Wibowo, S.T.,MT.
Supervisor II : Ir. Sjamsul Anam, MT.

Abstract:

Settings generation and power flow in the power system are both very important in the power system. The settings can be done by regulating the active and reactive power output of each generator and the prediction of electrical power flow on any electrical network in power systems. But in the process of distribution of electrical energy from the power plant to the consumer or load toward much disorder that occurs as the loss of the transmission line, short circuit, lightning strikes. In fact, a disorder that occurs in the form of loss of system elements (outage) in the electric power system is something that can not be fully avoid. In this thesis designed a software package for calculating the alternating current optimal power flow (ACOPF) and then the results of calculations can be sent over the Internet with file transfer protocol (FTP) using MATLAB. ACOPF calculation results that have already been uploaded into internet server can be reviewed by users whose device has been integrated with the software via the internet. The software in this thesis was designed using Matlab R2014a, graphical user interface development environment (GUIDE), Corel Draw, and Cpanel as cloud server data storage.

Keywords: *Optimal power flow, online software, contingency, power system*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul ***Online Simulator Untuk Operasi Optimum Sistem Tenaga Listrik Dengan Mempertimbangkan Kontingensi.***

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Bapak saya, Alm. Ir. Pom Soerjandrijo MM. dan Ibu saya, Ir. Ratna Hartayu MT., serta adik saya Rizkiananda Suryandriyo yang telah banyak membantu dan memberikan bekal untuk pengerjaan tugas akhir.
3. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. dan Ir. Sjamsjul Anam MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya dalam tugas akhir.
4. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, PhD , Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT., Dimas Fajar Uman Putra, ST., dan Suyanto ST., MT. yang telah memberikan bimbingan, ilmu, serta nasihat selama penulis melaksanakan studi.
5. Rekan-rekan ELVN Warung Pecah Gebang, Saudara Didik Purwanto, dan M. Fauzan Aristyo ST. yang telah berperan banyak dalam membantu penulis dalam proses pengerjaan tugas akhir.
6. Keluarga Besar Lab. B103, Trainee, Calon Trainee, dan Asisten khususnya Albert Ryanta.
7. Rekan – rekan Grup LBE Lab Simulasi, terutama Faiz Cumi.
8. Teknik Elektro ITS yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Mei 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR KEASLIAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Metode Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
1.6 Relevansi	4
BAB 2 OPTIMAL POWER FLOW DAN ANALISA KONTINGENSI	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1 Sistem Pembangkitan	5
2.1.2 Sistem Transmisi	6
2.1.3 Sistem Distribusi	6
2.1.4 Beban	7
2.2 Operasi Optimum Sistem Tenaga Listrik (Optimal Power Flow)	7
2.3 Pengaturan Daya Keluaran Pembangkit (Economic Dispatch)	8
2.4 Aliran Daya Optimal Pada Sistem Tenaga (Optimal Power Flow)	8
2.5 Kontingensi Pada Sistem Tenaga Listrik	9
2.6 Kurva Kapabilitas Generator	9
BAB 3 PERANCANGAN <i>SIMULATOR</i> OPERASI OPTIMUM SISTEM TENAGA LISTRIK	11
3.1 Algoritma <i>Software</i>	11
3.2 Pembentukan Batasan Perhitungan	13
3.3 Optimization toolbox pada Matlab	14

3.4	Pembuatan Tampilan <i>Software</i>	14
3.5	Online Software	17
3.6	Proses Mengunduh Dan Mengunggah Data Hasil Optimasi	18
3.7	ACOPF menggunakan <i>Matpower</i>	18
3.8	Kurva Kapabilitas Generator.....	20
3.9	Sistem Jawa Madura Bali PLN 500kV.....	20
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS		23
4.1	Online Simulator	23
4.2	Optimasi Power Flow Sistem Jamali saluran 500kV	23
4.3	<i>Optimasi Power Flow Sistem Jamali saluran 500kV</i> dengan mempertimbangkan kontingensi lepasnya saluran N-1	29
4.4	Analisa Kontingensi Lepasnya Saluran Suralaya - Cilegon	31
4.5	Kurva Kapabilitas Generator.....	38
BAB 5 PENUTUP		39
5.1	Kesimpulan	39
5.2	Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....		41
LAMPIRAN		43

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Tabel kecepatan upload/download	23
Tabel 4. 2 Hasil optimasi bus Jamali.....	24
Tabel 4. 3 Hasil optimasi pembangkitan.....	25
Tabel 4. 4 Hasil optimasi pembangkitan (lanjutan)	26
Tabel 4. 5 Hasil optimasi pembangkitan (lanjutan)	27
Tabel 4. 6 Tabel saluran hasil optimasi.....	27
Tabel 4. 7 Tabel saluran hasil optimasi (lanjutan)	28
Tabel 4. 8 Tabel saluran hasil optimasi (lanjutan)	29
Tabel 4. 9 List saluran jamali 500kV	29
Tabel 4. 10 List saluran jamali 500kV (lanutan).....	30
Tabel 4. 11 Tabel data bus	31
Tabel 4. 12 Tabel data bus (lanjutan).....	32
Tabel 4. 13 Tabel data pembangkitan	32
Tabel 4. 14 Tabel data pembangkitan (lanjutan).....	33
Tabel 4. 15 Tabel data pembangkitan (lanjutan).....	34
Tabel 4. 16 Tabel saluran	34
Tabel 4. 17 Tabel saluran (lanjutan).....	35
Tabel 4. 18 Tabel saluran (lanjutan).....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Model operasi optimum pembangkit.....	5
Gambar 2. 2 Kurva beban harian.	7
Gambar 2.3 Kurva kapabilitas generator.....	10
Gambar 3.1 Diagram pemodelan program.....	11
Gambar 3. 2 Algoritma optimation software.....	12
Gambar 3. 3 Tampilan software.....	15
Gambar 3. 4 Tampilan software menu kontingensi	15
Gambar 3. 5 Tampilan software data bus.....	16
Gambar 3. 6 Tampilan <i>software capability curve</i>	16
Gambar 3.7 Flow Chart Proses Pengiriman dan Pengambilan Data	18
Gambar 3. 8 Sistem Jamali 500kV PLN	21
Gambar 4. 1 Lepasnya saluran Suralaya - Cilegon	31
Gambar 4. 2 Perbandingan pembangkitan daya aktif.....	36
Gambar 4. 3 Perbandingan Losses	37
Gambar 4. 4 Perbandingan total biaya pembangkitan.....	37
Gambar 4. 5 Kurva kapabilitas generator.....	38

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu sumber energi yang penting di dunia ini karena energi tersebut bersih dan mudah untuk didistribusikan. Di Indonesia konsumsi energi listrik tiap tahunnya mengalami peningkatan seiring meningkatnya pertumbuhan masyarakat. Pertumbuhan permintaan listrik di Indonesia menembus angka 10.17% pada tahun 2012. Peningkatan kebutuhan tenaga listrik harus diimbangi dengan pengelolaan sumber pembangkitan yang baik, sehingga dapat menyediakan tenaga listrik yang berkualitas baik dan ekonomis. Salah satu cara pengelolaan yang baik adalah mengatur manajemen daya keluaran seluruh pembangkit pada suatu sistem tenaga listrik[1]. Secara umum pembangkit tenaga listrik terdiri dari beberapa komponen utama seperti turbin dan generator, yang memiliki fungsi untuk membangkitkan daya listrik yang kemudian didistribusikan kepada konsumen. Pembangkit listrik memiliki nilai karakteristik input - output terhadap biaya pembangkitan yaitu \$/h. Nilai tersebut didapatkan dari pemodelan matematis dari perhitungan bahan bakar serta efisiensi dari pembangkit. Pembangkit tenaga listrik tersebut kemudian digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik beban[2].

Peran utama dari suatu sistem tenaga listrik adalah menyediakan dan menyalurkan energi listrik secara andal dan terus menerus kepada beban. Secara umum keandalan sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai suatu kemampuan sistem untuk memberikan suatu pasokan tenaga listrik yang cukup dengan kualitas yang memuaskan. Keandalan suatu sistem tenaga listrik ditentukan oleh kemampuan sistem untuk memasok energi listrik kepada beban dengan kualitas dan kuantitas yang baik dan tetap mampu bertahan akibat adanya gangguan yang mendadak seperti hubungan singkat atau hilangnya elemen sistem yang tidak diduga

Dalam proses penyaluran energi listrik dari pembangkit menuju ke konsumen atau beban banyak gangguan yang terjadi seperti lepasnya saluran transmisi, *short circuit*, sambaran petir, dan sebagainya. Pada kenyataannya, gangguan yang terjadi berupa lepasnya elemen sistem (*outage*) dalam sistem tenaga listrik adalah sesuatu yang tidak dapat sepenuhnya dihindarkan. Lepasnya elemen sistem dapat terjadi karena gangguan (*force outage*) atau karena pemeliharaan (*planned outage*).

Forced outage adalah lepasnya elemen sistem yang disebabkan oleh adanya gangguan (*fault*) misalnya saluran transmisi yang terkena sambaran petir, terkena badai, kerusakan pada transformator atau generator, sedangkan *planned outage* adalah lepasnya elemen sistem karena adanya pemeliharaan peralatan pada sistem tersebut. Diperlukan sebuah simulator yang dapat mensimulasikan, menganalisa, dan memberi opsi apabila terjadi kejadian – kejadian tersebut.[3]

1.2 Batasan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Membuat perangkat lunak untuk mengatur aliran daya aktif dan reaktif yang tepat dan efisien pada setiap pembangkit pada sistem tenaga.
2. Membuat perangkat lunak yang terhubung *online* dengan data beban dan operator sehingga dapat memudahkan operator dalam hal pengoptimalan daya keluaran pembangkit.
3. Menganalisa aliran daya apabila terjadi kontingensi lepasnya saluran N-1
4. Menampilkan hasil pengaturan aliran daya kedalam sebuah *single line diagram*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah untuk merancang sebuah simulator operasi optimum sistem tenaga listrik yang data tiap pembangkit yang terintegrasi *online* melalui *file transfer protocol (FTP)* berbasis MATLAB *Graphical User Interface (GUI)* serta menerapkan batasan – batasan perhitungan yaitu kontingensi saluran sebagai parameter perhitungan operasi optimum aliran daya pada sistem tenaga listrik dengan tujuan untuk menganalisa keandalan sistem. *Online Simulator* akan ditampilkan dalam sebuah *single line diagram (SLD)* yang akan mempermudah operator di pembangkitan dalam melaksanakan pekerjaannya.

1.4 Metode Penelitian

Pada tugas akhir ini dirancang simulator yang terdiri dari *prediction software* menggunakan *dynamic unit commitment economic dispatch (DUCED)* dan *online software* menggunakan *matpower* berbasis MatLab. Tahapan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Literatur yang digunakan berasal dari *paper*, jurnal, dan *text book*. Dalam studi literatur dipelajari teori – teori pendukung seperti *economic dispatch*, *optimal power flow*, *file transfer protocol (FTP)*, *MatLab Optimization Toolbox* serta perancangan perangkat lunak menggunakan *Matlab Graphical User Interface Development Environment (GUIDE)*.

2. Pengumpulan data

Data yang digunakan meliputi data generator, bus, saluran dan beban. Data generator meliputi nama dan tipe pembangkit, kapasitas maksimum dan minimum pembangkit, biaya penyalan pembangkit, Data bus meliputi tipe dan nomer bus serta tegangan bus. Data saluran terdiri dari data impedansi dan kapasitas saluran. Data beban terdiri dari data beban aktif dan data beban aktif dan reaktif.

3. Pemodelan program

Pemodelan dimaksudkan untuk mengetahui diagram alir dari penggunaan *input* dan *output*. *Input* berupa data pembangkit, bus, saluran dan data beban serta batasan-batasan perhitungan. *Output* berupa hasil perhitungan aliran daya yang akan ditampilkan dalam sebuah *Single Line Diagram (SLD)* dan akan dikirimkan melalui internet software kepada penerima (operator)

4. Perancangan *Graphic User Interface*

Perancangan perangkat lunak dengan bantuan *toolbox* matlab untuk menampilkan sebuah display dari sebuah pemrograman yang mudah untuk digunakan oleh pengguna.

5. Simulasi dan analisis

Simulasi dilakukan dengan menggunakan sistem Jawa-Bali 500kV 25 bus. Simulasi tersebut terdiri menjadi dua tahap yaitu simulasi *online* untuk perhitungan daya aktif dan reaktif keluaran tiap pembangkit serta aliran daya optimal pada sistem. Yang kedua adalah simulasi *OPF* dengan mempertimbangkan kontingensi lepasnya suatu saluran.

6. Penulisan buku

Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir. Laporan tersebut berisi metode dan kesimpulan dari penelitian.

1.5 Sistematika Penulisan

Tugas Akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1: PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batasan masalah, metode penelitian, sistematika penulisan dan relevansi dari Tugas Akhir.

BAB 2: *OPTIMAL POWER FLOW DAN KONTINGENSI N-1*

Bab ini berisi teori terkait perencanaan operasi optimum sistem tenaga listrik pengaturan daya keluaran ekonomis tiap pembangkit pada satu sistem dan aliran daya optimal bolak balik atau *alternating current optimal power flow (ACOPF)*. Serta metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *OPF matpower*.

BAB 3: Metodologi penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan program dan perangkat lunak menggunakan MATLAB R2014a , *Graphical User Interface Development Environment (GUIDE)*, *File Transfer Protokol (FTP)*, dan Corel Draw.

BAB 4: SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dilakukan simulasi, hasil perhitungan, dan perbandingan operasi optimum aliran daya terhadap operasi optimum aliran daya dengan mempertimbangkan kontingensi lepasnya saluran N-1.

BAB 5: PENUTUP

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil simulasi dan analisis menggunakan *software* optimasi ini.

1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai berikut:

1. Dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem tenaga listrik khususnya dalam perencanaan operasi optimum yaitu daya keluaran ekonomis tiap pembangkit dan aliran daya optimal sistem tenaga.
2. Simulator dapat menjadi solusi dalam analisis dan perhitungan operasi optimum apabila ada gangguan lepasnya satu saluran.
3. Simulator dapat dikembangkan lebih lanjut oleh mahasiswa sehingga mendapatkan hasil yang lebih lengkap.

BAB 2

OPTIMAL POWER FLOW DAN ANALISA KONTINGENSI

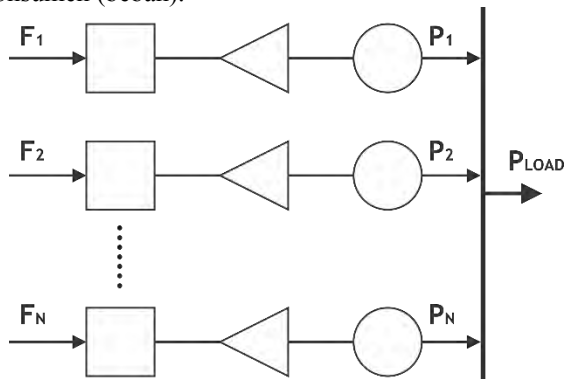
2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah kumpulan komponen listrik yang saling terhubung untuk menyalurkan energi listrik. Sistem pembangkitan terdiri dari kumpulan pembangkit tenaga listrik yang terhubung dengan sistem transmisi dan sistem distribusi. Sistem transmisi digunakan dalam penyaluran daya listrik dari sistem pembangkitan menuju sistem distribusi dengan menggunakan tegangan tinggi untuk mengurangi rugi – rugi saluran. Sedangkan untuk sistem distribusi terdiri dari gardu induk dan beban[4]. Sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi 4 bagian yaitu:

1. Sistem Pembangkitan
2. Transmisi
3. Distribusi
4. Beban

2.1.1 Sistem Pembangkitan

Salah satu elemen yang penting pada sistem tenaga listrik adalah pembangkitan. Sistem pembangkitan terdiri dari beberapa pembangkit tenaga listrik atau generator yang terdiri dari beberapa komponen utama seperti turbin dan generator. Listrik yang dibangkitkan kemudian akan disalurkan melalui saluran transmisi untuk kemudian didistribusikan kepada konsumen (beban).



Gambar 2.1 Model operasi optimum pembangkit [2]

Pembangkit tenaga listrik dapat dibedakan menjadi beberapa jenis sesuai dengan bahan bakar yang digunakan, salah satu diantaranya adalah pembangkit listrik tenaga panas atau *thermal*. Pembangkit tipe ini merupakan pembangkit listrik yang mayoritas digunakan untuk memenuhi beban harian atau *base load*.

Setiap pembangkit memiliki karakteristik unit pembangkit masing – masing[2]. Karakteristik tersebut diperoleh dari data – data seperti, desain generator dari pabrik pembuat generator, data histori pengoperasian generator maupun data percobaan. Karakteristik unit pembangkit digunakan dalam perhitungan biaya pembangkitan dari tiap unit pembangkit sehingga dapat dicapai nilai ekonomis atau optimum.

2.1.2 Sistem Transmisi

Transmisi pada sistem tenaga listrik merupakan jaringan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik hasil dari pembangkitan yang letaknya berjauhan dengan beban. Saluran transmisi menggunakan tegangan yang bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi akibat arus yang mengalir pada impedansi saluran.[5]

Saluran transmisi pada sistem tenaga listrik dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan tensannya:

1. Saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET): 200 kV – 500 kV
2. Saluran udara tegangan tinggi (SUTT): 30 kV – 150 kV
3. Saluran kabel tegangan tinggi (SUTT): 30 kV – 150 kV
4. Saluran udara tegangan menengah (SUTM): 6 kV – 30 kV
5. Saluran kabel tegangan menengah (SKTM): 6 kV – 30 kV
6. Saluran udara tegangan rendah (SUTR) 40 Volt – 1000 Volt
7. Saluran kabel tegangan rendah (SUTR) 40 Volt – 1000 Volt

2.1.3 Sistem Distribusi

Sistem distribusi berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari sistem transmisi melalui gardu induk distribusi kepada konsumen dengan menurunkan tegangan menjadi lebih rendah. Sistem distribusi dibagi menjadi sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder.

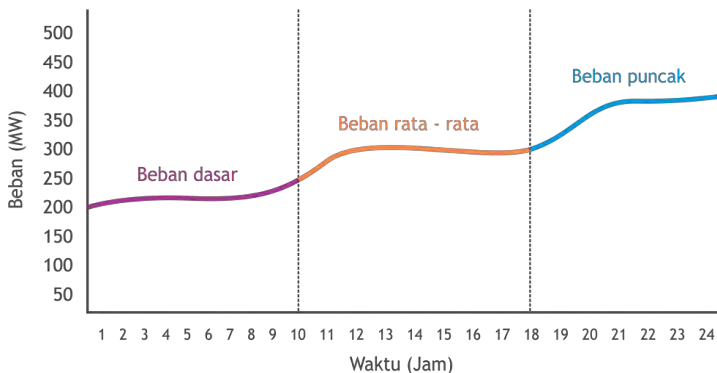
Sistem distribusi primer untuk menyalurkan daya kepada sektor industri. Tegangan yang digunakan antara 4 kV sampai dengan 34,5 kV. Sedangkan untuk sistem distribusi sekunder biasanya untuk menyalurkan daya kepada konsumen perumahan dan komersial. Tegangan yang digunakan adalah tegangan satu fasa 240/120 V dengan tiga kawat,

tegangan tiga fasa 208/120 V dengan empat kawat, tegangan tiga fasa 480/277 V dengan empat kawat[5].

2.1.4 Beban

Beban dalam sistem tenaga listrik dibagi ke dalam beberapa jenis yaitu beban industri, beban perumahan dan beban komersil. Beban industri sebagian besar berupa beban dinamis yaitu motor yang menyerap daya reaktif. Beban komposit bergantung pada tegangan dan frekuensi sehingga kualitas tegangan dan frekuensi dipertahankan pada batas yang ditentukan. Beban perumahan dan beban komersil terdiri dari beban untuk penerangan, pemanasan dan pendinginan. Beban tersebut tidak bergantung pada frekuensi dan hanya mengkonsumsi daya reaktif dengan nilai yang kecil.

Pada umumnya kurva beban harian dapat digolongkan menjadi beban dasar, beban rata – rata dan beban puncak [6]. Berdasarkan data beban dasar, beban rata – rata, dan beban puncak dapat digunakan untuk mengatur pola daya yang dibangkitkan pada tiap pembangkit. Pengaturan daya yang dibangkitkan pada tiap pembangkit untuk menyuplai beban didasarkan pada biaya pembangkitan, fleksibilitas operasi, dan kapasitas pembangkitan.



Gambar 2. 2 Kurva beban harian[2].

2.2 Operasi Optimum Sistem Tenaga Listrik (Optimal Power Flow)

Operasi optimum pada sistem tenaga listrik adalah sebuah perhitungan operasi aliran daya yang meminimalkan biaya pembangkitan

dengan batasan – batasan seperti sudut tegangan, magnitudo, keluaran daya aktif, dan reaktif tiap pembangkit.

2.3 Pengaturan Daya Keluaran Pembangkit (Economic Dispatch)

Economic Dispatch bertujuan untuk mengurangi biaya pembangkitan dan menjaga agar jumlah pasokan daya beban sama dengan daya yang terbangkitkan dengan cara mengatur daya keluaran tiap pembangkit. Pengaturan daya keluaran pembangkit dapat dilakukan dengan beberapa cara tergantung dengan data pembangkit yang tersedia. Penyelesaian perhitungan untuk data pembangkit dengan orde 2 dapat diselesaikan dengan quadratic programming (QP).

Quadratic programming (QP) merupakan program optimasi dari fungsi objektif berupa persamaan kuadrat. QP akan melakukan perhitungan dengan mempertimbangkan batasan linear. Batasan linear digunakan untuk membatasi nilai variable yang dioptimasi dalam fungsi objektif. Algoritma QP dapat dinyatakan dalam persamaan (2.1).

$$F(x) = f + g^T x + \frac{1}{2} x^T H x \quad (2.1)$$

QP memiliki batasan linear yang sama dengan LP.[7]

2.4 Aliran Daya Optimal Pada Sistem Tenaga (Optimal Power Flow)

Studi aliran daya atau *power flow* (PF) merupakan salah satu bagian dari perencanaan optimasi sistem tenaga listrik yang memperhitungkan sudut phasa (θ), magnitudo (V) dari tegangan setiap bus, dan aliran daya aktif dan reaktif pada setiap saluran di sistem tenaga listrik[5]. Perhitungan *power flow* (PF) akan mendapatkan nilai rugi – rugi atau *losses* jaringan sehingga daya yang dibangkitkan adalah jumlah dari daya beban dan rugi – rugi *losses*.

$$P_g = P_d + P_{losses} \quad (2.2)$$

Optimal power flow (OPF) merupakan perhitungan aliran daya yang memperhitungkan biaya pembangkitan sehingga didapatkan nilai pembangkitan yang murah dengan memperhitungkan rugi – rugi atau *losses* jaringan. PF dan OPF merupakan perhitungan aliran daya yang terbagi menjadi AC dan DC. AC pada PF dan OPF akan

memperhitungkan daya aktif dan reaktif, sedangkan untuk DC hanya memperhitungkan daya aktif. Aliran daya aktif dan aliran daya reaktif pada saluran, dapat dinyatakan dalam persamaan (2.11) dan (2.12).

$$P_{ij} = V_i^2 g_{ij} - V_i V_j [g_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + b_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)] \quad (2.3)$$

$$Q_{ij} = -V_i^2 b_{ij} - V_i V_j [g_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - b_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)] \quad (2.4)$$

Keterangan ,

P_{ij} : aliran daya aktif pada saluran ij (MW)

Q_{ij} : aliran daya reaktif pada saluran ij (MVar)

V_i, V_j : magnitudo tegangan pada bus i dan bus j (KV)

δ_i, δ_j : sudut tegangan pada bus i dan bus j (radian)

g_{ij} : konduktansi saluran ij (ohm)

b_{ij} : subseptansi saluran ij (ohm)

2.5 Kontingensi Pada Sistem Tenaga Listrik

Kontingensi adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh kegagalan atau pelepasan dari satu atau lebih generator dan/atau transmisi. Kontingensi N-1 adalah kontingensi yang dihasilkan dari terlepasnya satu komponen sistem yaitu satu saluran transmisi atau satu generator. Kontingensi N-k adalah kontingensi yang dihasilkan dari terlepasnya sejumlah k komponen sistem.

Suatu sistem tenaga listrik mungkin mengalami kondisi kontingensi, antara lain: (1) lepasnya unit pembangkit dan/atau saluran transmisi akibat adanya gangguan, dan (2) adanya penambahan atau pengurangan yang tiba-tiba dari kebutuhan beban pada sistem tenaga listrik. Meskipun banyak kontingensi lain yang dapat terjadi, namun hanya kontingensi-kontingensi yang mempunyai probabilitas yang tinggi (*credible*) yang akan dipertimbangkan[3].

2.6 Kurva Kapabilitas Generator

Kurva kapabilitas generator memuat karakteristik dan kemampuan operasi kerja generator, meliputi daya aktif (MW), daya reaktif (MVar) dan daya rating (MVA) kurva kapabilitas generator dibatasi oleh 3 parameter, yaitu:

- a. Batas arus kumparan stator (stator winding current limit). Ditentukan berdasarkan rating arus yang mengalir dikumparan stator dapat digambarkan sebuah lingkaran dengan titik pusat (0,0) dengan radius *rated MVA* generator.

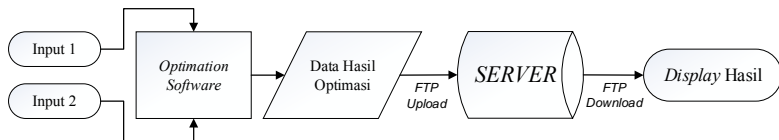
BAB 3

PERANCANGAN *SIMULATOR* OPERASI OPTIMUM SISTEM TENAGA LISTRIK

Simulator operasi optimum sistem tenaga listrik pada tugas akhir ini terbagi menjadi dua bagian yaitu *OPTIMIZATION SOFTWARE*, yang fungsinya untuk melakukan perhitungan optimasi aliran daya dan *OPTIMIZATION VIEWER* yang fungsinya sebagai display hasil tampilan dari perhitungan *OPTIMIZATION SOFTWARE*. Kedua *software* ini letaknya saling berjauhan dan dihubungkan oleh *internet*.

Pada *optimization software* melakukan pengaturan daya keluaran ekonomis tiap pembangkit atau *economic dispatch (ED)* dan perhitungan aliran daya optimal arus bolak – balik atau *alternating current optimal power flow (ACOPF)*.

Prediction software dan *online software* akan melakukan perhitungan yang terintegrasi seperti yang dapat terlihat pada Gambar 3.1.



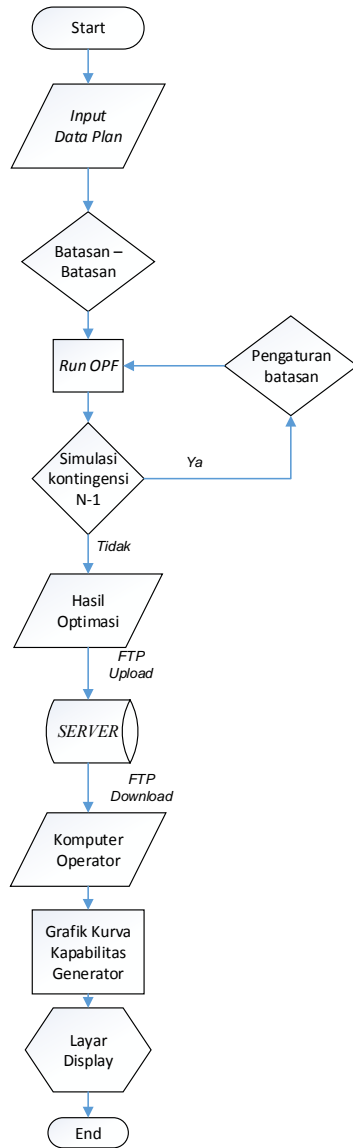
Gambar 3.1 Diagram pemodelan program.

Input 1 terdiri dari data pembangkit dan data beban jamali saluran 500kV sedangkan *input 2* merupakan data pembangkit dan data beban jamali saluran 500kV dengan mempertimbangkan kontingensi lepasnya saluran N-1. untuk menentukan model perhitungan yang diinginkan berupa batasan dan metode perhitungan. Hasil dari *optimization software* kemudian diunggah ke *server* melalui *file transfer protocol (FTP)*.

Optimization Viewer akan mengunduh hasil perhitungan optimasi melalui (*FTP*) dan akan ditampilkan dalam sebuah window sehingga memudahkan operator untuk mengatur dan mengetahui pembangkitan tiap generator.

3.1 Algoritma Software

Flowchart perhitungan dari *Optimization software* :



Gambar 3. 2 Algoritma optimization software

Berikut adalah notasi yang digunakan pada sub bab 3.1:

F	= Biaya bahan bakar (\$).
P _{max}	= Kapasitas maksimum pembangkit (MW).
P _{min}	= Kapasitas minimum pembangkit (MW).
P	= Daya aktif yang dibangkitkan (MW).
V	= Magnitude tegangan pada bus (V).
Θ	= Sudut tegangan pada bus (°).
A, A _{eq}	= Matrik yang menyatakan koefisien linier.
b, b _{eq}	= Vektor yang menyatakan koefisien linier.
c	= matrix yang menyatakan batasan non linier <i>equality constraints</i>
c _{eq}	= matrix yang menyatakan batasan non linier <i>inequality constraints</i>
l _b	= Batas bawah <i>equality</i> dan <i>inequality constraints</i> .
u _b	= Batas atas <i>equality</i> dan <i>inequality constraints</i> .
x _{min}	= Batas nilai minimum variabel x.
x _{max}	= Batas nilai maksimum variabel x.

3.2 Pembentukan Batasan Perhitungan

$$\min_x f(x) \quad (3.1)$$

Hasil akhir optimisasi adalah untuk meminimkan biaya pembangkitan (*fuel cost*)

$$\sum_{i=1}^n F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (3.2)$$

3.2.1 Power Balance

Power Balance merupakan *Equality Constraint* dalam program OPF dimana jumlah daya yang dibangkitkan nilainya sama dengan beban dan rugi – rugi atau *losses*.

$$P_{total\ load} + P_{total\ loss} - \sum_{j=1}^n P_{gen} = 0 \quad (3.3)$$

3.2.2 Generation Limit

Pada perhitungan *economic dispatch* terdapat pula batasan perhitungan berupa batasan *generation limit*. Batasan ini berupa kapasitas minimum dan maksimum suatu pembangkit sehingga daya yang dibangkitkan tiap pembangkit akan berada pada level batasan ini.

Batasan *generation limit* dapat dinyatakan pada persamaan (3.8).

$$P_{gmin} \leq P_g \leq P_{gmax} \quad (3.4)$$

3.2.3 Branch Flow Limit

Untuk tiap saluran transmisi terdapat batasan yaitu daya yang mengalir pada saluran transmisi harus kurang atau sama dengan kapasitas saluran.

$$\text{Real} \left\{ V_i \left[(V_i - V_j) y_{ij} + V^2 y_{charging_{ij}} \right]^* \right\} \leq MW \text{ flow}_{ij}^{max} \quad (3.5)$$

3.2.4 Voltage Magnitude

Batasan tegangan tiap bus adalah:

$$V_{min} \leq V \leq V_{max} \quad (3.6)$$

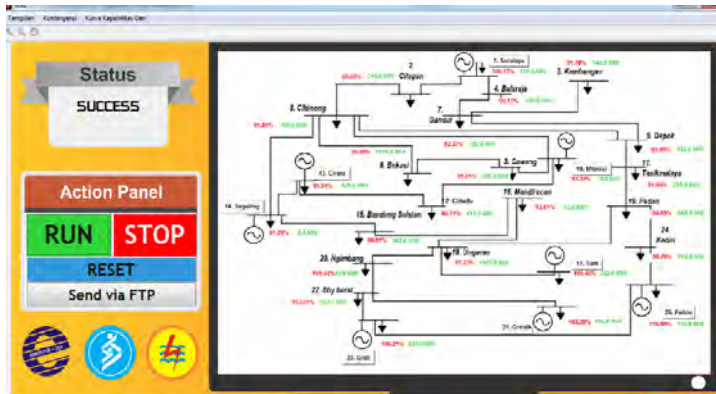
3.3 Optimization toolbox pada Matlab

Matlab menyediakan fitur *optimization toolbox* untuk memudahkan pengguna dalam mencari nilai minimum dari suatu objektif dengan batasan (*constrains*) tertentu.(3.25).

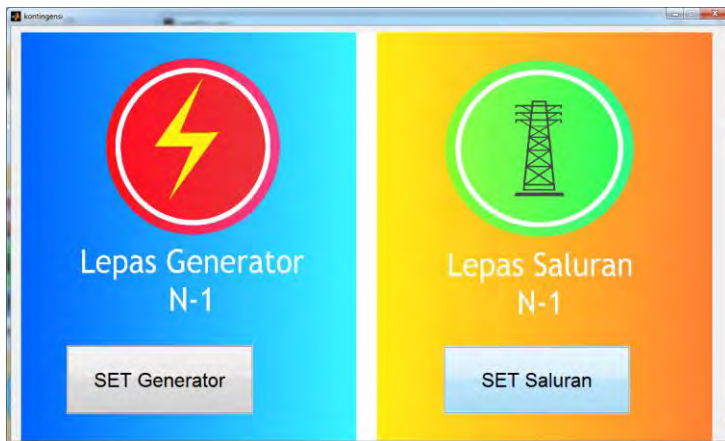
$$f(x) = \begin{cases} c(x) < 0 \\ ceq(x) \geq 0 \\ A \cdot x \leq b \\ A_{eq} \cdot x = b_{eq} \\ lb \leq x \leq ub \end{cases} \quad (3.7)$$

3.4 Pembuatan Tampilan Software

Tampilan *software* dirancang menggunakan perangkat lunak Matlab R2014 dengan bantuan *toolbox Graphical User Interface Development Environment* (GUIDE), Microsoft Visio, dan Corel Draw. Tampilan software dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. 3 Tampilan software

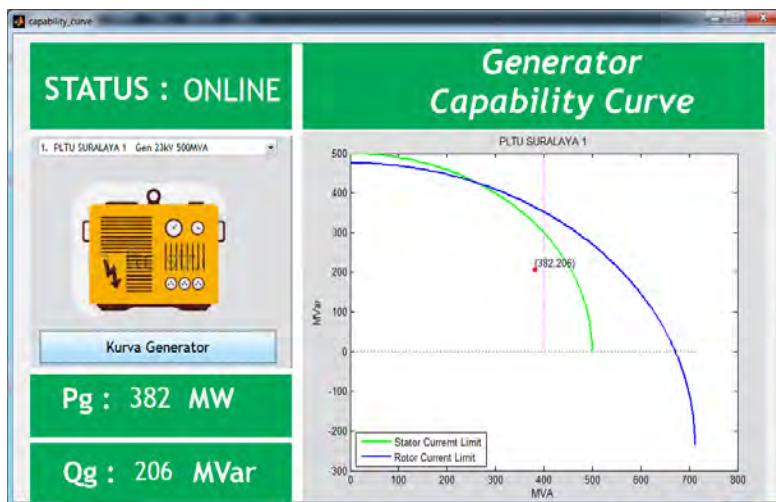


Gambar 3. 4 Tampilan software menu kontingensi

The screenshot shows a software window titled 'data_table'. On the left, there is a 'DATA TABLE' panel with three radio buttons: 'Bus', 'Generators' (which is selected), and 'Saluran'. The main area displays a table with the following columns: Gen Bus, Status, Pg (MW), Qg (MVar), Pmax (MW), Pmin (MW), Qmax (MVar), and Qmin (MVar). The table contains 20 rows of data for various generators and buses.

Gen Bus	Status	Pg (MW)	Qg (MVar)	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Qmax (MVar)	Qmin (MVar)
1	1	400	247.8980	400	160	247.8980	-45
1	1	400.0000	247.8980	400	160	247.8980	-30
1	0	0	0	400	160	247.8980	-30
1	1	400	247.8980	400	160	247.8980	-30
1	1	600	283.3330	600	240	283.3330	-220.4120
1	1	600	283.3330	600	240	283.3330	-220.4120
1	1	600	312.0840	600	240	312.0840	-220.4120
1	1	625	318.7490	625	250	318.7490	-167.8350
10	1	224.0000	94.0000	224	89.6000	94	-15
10	1	146	69.2550	146	58.4000	69.2550	-18.9360
10	1	146.0000	69.2550	146	58.4000	69.2550	-18.9360
10	1	146	69.2550	146	58.4000	69.2550	-18.9360
10	1	146	69.2550	146	58.4000	69.2550	-18.9360
10	1	146	69.2550	146	58.4000	69.2550	-18.9360
10	0	0	0	146	58.4000	69.4000	-19
10	0	0	0	146	58.4000	69.4000	-19
10	1	146	69.4000	146	58.4000	69.4000	-19
10	1	146	69.4000	146	58.4000	69.4000	-19
10	1	146.0000	69.4000	146	58.4000	69.4000	-19
10	1	146	69.4000	146	58.4000	69.4000	-19
10	1	75.0000	30.4260	75	30	30.4260	-16.2830

Gambar 3. 5 Tampilan software data bus



Gambar 3. 6 Tampilan software capability curve

Pada *optimization software* terdapat beberapa fitur yang dapat memudahkan pengguna untuk melakukan perhitungan dan analisis. Fitur – fitur tersebut diciptakan semata-mata untuk membantu pengguna dalam menjalankannya, fitur tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tampilan Single Line Diagram:

Pada fitur ini ditampilkan sebuah *Single Line Diagram* plant jamali 500kV yang akan mengeluarkan tegangan dan beban aktif pada setiap bus nya. Selain itu terdapat fitur untuk mengunggah *file* hasil *running* program *via ftp* ke server melalui internet.

2. Tampilan Table Data:

Menampilkan data hasil *running* program kedalam table yang berisi keterangan tiap Bus nya.

3. Kontingensi:

Pada fitur ini pengguna dapat melakukan simulasi kontingensi dengan cara melepas salah satu saluran atau generator, setelah itu dilakukan *running* ulang program dan mendapatkan hasil ulang dengan mempertimbangkan kontingensi N-1 (lepas satu saluran atau generator).

4. Kurva Kapabilitas Generator:

Pada fitur ini akan menampilkan grafik kurva kapabilitas generator yang menunjukkan posisi daya yang dibangkitkan tiap generator apakah sudah sesuai dengan kemampuan mesin listrik tersebut.

3.5 Online Software

Secara umum *optimation software* merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung aliran daya optimal bolak balik atau *alternating current optimal power flow* (ACOPF). Hasil yang didapatkan dari perhitungan ACOPF terdiri dari daya keluaran aktif dan reaktif dari tiap pembangkit, aliran daya aktif dan reaktif pada jaringan, tegangan dan sudut pada tiap bus, serta rugi – rugi atau *losses* jaringan.

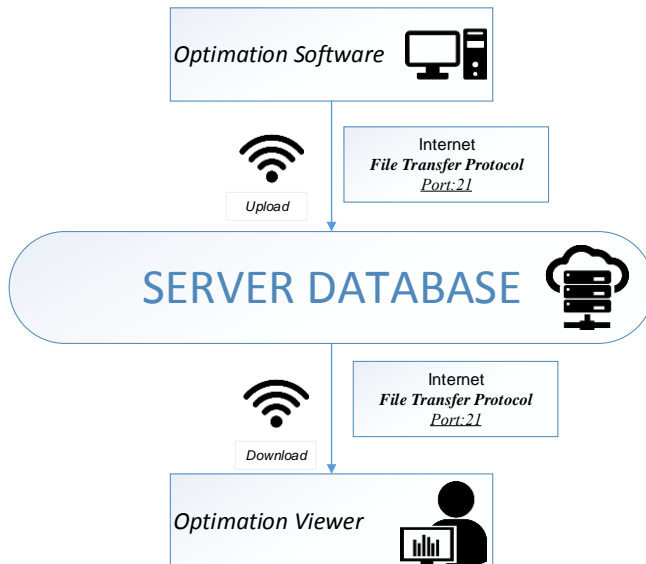
Hasil perhitungan pada *optimation software* nantinya akan dikirim ke *server* yang telah diatur oleh pengguna menggunakan *file transfer protocol* (FTP). File yang telah dikirim ke server nantinya dapat dilihat secara online dan akan diunduh oleh operator menggunakan *optimation viewer*. *Optimation viewer* akan menampilkan hasil perhitungan optimasi yang telah dijalankan oleh *optimation software* sehingga mempermudah operator dalam mengatur pembangkitan tiap generator.

Penyelesaian aliran daya aktif dan reaktif optimal atau ACOPF pada *online software* menggunakan program *matpower*. *Matpower* adalah sebuah program *open-source* berbasis matlab yang terdiri dari beberapa perhitungan sistem tenaga. Perhitungan sistem tenaga pada *matpower* meliputi perhitungan *power flow*, *DC power flow* dan *AC power flow*,

serta perhitungan daya optimal seperti DC *optimal power* (DCOPF) dan AC *optimal power flow* (ACOPF).

3.6 Proses Mengunduh Dan Mengunggah Data Hasil Optimasi

File data hasil yang akan dikirim kepada operator akan dikirim melalui internet menggunakan *file transfer protocol (FTP)* sehingga data akan singgah di *host server* IIX Indonesia yang terletak di Yogyakarta



Gambar 3.7 Flow Chart Proses Pengiriman dan Pengambilan Data

3.7 ACOPF menggunakan Matpower

ACOPF pada *matpower* merupakan pengembangan dari AC *power flow* dengan mempertimbangkan biaya pembangkitan dari tiap unit atau pembangkit[8]. Terdapat penambahan fungsi biaya pada ACOPF yaitu pada persamaan (3.26) dengan batasan pada persamaan (3.27), (3.28), dan (3.29).

$$\min_x f(x) \quad (3.8)$$

$$g(x) = 0 \quad (3.9)$$

$$h(x) \leq 0 \quad (3.10)$$

$$x_{min} \leq x \leq x_{max} \quad (3.11)$$

Vektor x yang optimal pada ACOPF standard terdiri dari nilai $n_b \times 1$ vektor dari magnitude (V_m) sudut tegangan (θ) dan $n_g \times 1$ vektor dari daya aktif dan reaktif yang diinjeksikan pada p_g dan Q_g seperti pada persamaan (3.30).

$$x = \begin{bmatrix} \theta \\ V_m \\ p_g \\ Q_g \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Sehingga fungsi objektif akan berupa total biaya dari *cost function* f_p dan f_q dari daya aktif dan reaktif yang diinjeksikan. Fungsi objektif tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan (3.13).

$$\min_{\theta, V_m, p_g, Q_g} \sum_{i=1}^{n_g} f_p^i(p_g^i) + f_q^i(q_g^i) \quad (3.13)$$

Equality constraint pada persamaan (3.9) berupa 2 set data dari n_b non linear aliran daya aktif dan reaktif (*power balance*), sedangkan untuk *inequality constraint* terdiri dari 2 set n_l batas saluran atau *branch limit* sebagai fungsi non linear dari sudut tegangan dan magnitude pada tiap bus. Sehingga dapat dinyatakan pada persamaan (3.14) dan (3.15).

$$h_f(\theta, V_m) = |F_f(\theta, V_m)| - F_{max} \leq 0 \quad (3.14)$$

$$h_t(\theta, V_m) = |F_t(\theta, V_m)| - F_{max} \leq 0 \quad (3.15)$$

Sedangkan untuk batasan variable x pada persamaan (3.11) berupa sudut tegangan pada bus, magnitude, daya aktif, dan reaktif yang diinjeksikan pada tiap generator sehingga dapat dinyatakan pada persamaan (3.16), (3.17), (3.18), dan (3.19).

$$\theta_i^{ref} \leq \theta_i \leq \theta_i^{ref} \quad i \in I^{ref} \quad (3.16)$$

$$V_m^{i,min} \leq V_m^i \leq V_m^{i,max} \quad i = 1 \dots nb \quad (3.17)$$

$$p_g^{i,min} \leq p_g^i \leq p_g^{i,max} \quad i = 1 \dots nb \quad (3.18)$$

$$q_g^{i,min} \leq q_g^i \leq q_g^{i,max} \quad i = 1 \dots nb \quad (3.19)$$

3.8 Kurva Kapabilitas Generator

Kurva kapabilitas generator memuat karakteristik dan kemampuan operasi kerja generator, meliputi daya aktif (MW), daya reaktif (MVar) dan daya rating (MVA) kurva kapabilitas generator dibatasi oleh 3 parameter, yaitu:

- Batas arus kumparan stator (stator winding current limit). Ditentukan berdasarkan rating arus yang mengalir dikumparan stator dapat digambarkan sebuah lingkaran dengan titik pusat (0,0) dengan radius *rated MVA* generator.
- Batas arus kumparan rotor (rotor winding current limit). Ditentukan berdasarkan penguatan arus medan yang mengalir di kumparan rotor, diwakili oleh lingkaran dititik (0,Q) dengan radius D_E

$$Q = -\frac{3V_\phi^2}{X_s} \quad (3.20)$$

$$E_a = V_\phi + jX_s I_a \quad (3.21)$$

$$D_E = \frac{3E_a V_\phi}{X_s} \quad (3.22)$$

3.9 Sistem Jawa Madura Bali PLN 500kV

Pada pengujian perhitungan operasi optimum pada tugas akhir ini digunakan sistem Jawa Madura Bali (Jamali) 500kV 25 Bus sebagai *plant*. Sistem IEEE 14 bus terdiri dari 59 generator dan 25 bus seperti terlihat pada Gambar 3.6. Data – data seperti data generator, bus, saluran pada sistem Jawa Madura Bali (Jamali) 500kV 25 Bus dapat dilihat pada Tabel 3.1, 3.2, dan 3.3.



Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Online Simulator

Pada tugas akhir ini terdapat 2 macam program, program yang pertama adalah program yang tujuannya untuk memperhitungkan hasil optimasi dengan data yang diperoleh dari seluruh bus dan generator lalu mengunggah hasilnya mealui internet yaitu program *Optimation Software*, sedangkan program yang kedua bertujuan untuk mengunduh hasil optimasi tersebut lalu menampilkannya kedalam sebuah layar komputer.

Yang dimaksud *Online* disini adalah terhubungnya kedua software tersebut untuk menyampaikan informasi sebuah file hasil.mat yang dikirim melalui *file transfer protokol (FTP) internet access* pada *port 21 server* <http://kharis.space> yang terletak di rumah *server IIX* Yogyakarta. Setelah dilakukan test speed running *upload* dan *download* file hasil sebanyak 5 kali percobaan dengan menggunakan *internet provider* Firstmedia didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Tabel kecepatan upload/download

Percobaan ke	Waktu (detik)	
	<i>Upload</i>	<i>Download</i>
1	7.1865	7.0334
2	11.3246	12.2407
3	3.5375	12.2407
4	3.1046	7.6251
5	4.4006	8.2208
rata-rata	5.91076	9.47214

4.2 Optimasi Power Flow Sistem Jamali saluran 500kV

Data berikut adalah data hasil perhitungan *optimal power flow* jamali 500kV:

Tabel 4. 2 Hasil optimasi bus Jamali

Bus No	BUS Type	Pd	Qd	Vm (pu)	Va (degrees)	Base Kv	Vmax	Vmin
1	3	159	46	1	0	500	1.05	0.95
2	1	314	144	1	0	500	1.05	0.95
3	1	596	163	1	0	500	1.05	0.95
4	1	450	160	1	0	500	1.05	0.95
5	1	649	236	1	0	500	1.05	0.95
6	1	1118	382	1	0	500	1.05	0.95
7	1	782	91	1	0	500	1.05	0.95
8	1	461	318	1	0	500	1.05	0.95
9	1	432	62	1	0	500	1.05	0.95
10	2	0	0	1	0	500	1.05	0.95
11	1	295	109	1	0	500	1.05	0.95
12	1	911	509	1	0	500	1.05	0.95
13	2	626	224	1	0	500	1.05	0.95
14	2	0	0	1	0	500	1.05	0.95
15	1	562	268	1	0	500	1.05	0.95
16	1	-13	18	1	0	500	1.05	0.95
17	2	352	74	1	0	500	1.05	0.95
18	1	1007	606	1	0	500	1.05	0.95
19	1	688	237	1	0	500	1.05	0.95
20	1	197	34	1	0	500	1.05	0.95
21	2	165	89	1	0	500	1.05	0.95
22	1	952	180	1	0	500	1.05	0.95
23	2	631	303	1	0	500	1.05	0.95
24	1	785	279	1	0	500	1.05	0.95
25	2	742	123	1	0	500	1.05	0.95
Total Beban:		12861	4655					

Tabel 4. 3 Hasil optimasi pembangkitan

Bus No	STAT Gen	Pg	Qg	Vg	Pmax	Pmin	Qmax	Qmin
1	1	400.00	247.90	1.04	400	160	247.90	-45.00
1	1	400.00	247.90	1.04	400	160	247.90	-30.00
1	0	0.00	0.00	1.02	400	160	247.90	-30.00
1	1	400.00	247.90	1.04	400	160	247.90	-30.00
1	1	600.00	283.33	1.04	600	240	283.33	-220.41
1	1	600.00	283.33	1.04	600	240	283.33	-220.41
1	1	600.00	312.08	1.04	600	240	312.08	-220.41
1	1	625.00	318.75	1.04	625	250	318.75	-167.84
10	1	224.00	94.00	0.97	224	89.6	94.00	-15.00
10	1	146.00	69.26	0.97	146	58.4	69.26	-18.94
10	1	146.00	69.26	0.97	146	58.4	69.26	-18.94
10	1	146.00	69.26	0.97	146	58.4	69.26	-18.94
10	1	146.00	69.26	0.97	146	58.4	69.26	-18.94
10	1	146.00	69.26	0.97	146	58.4	69.26	-18.94
10	0	0.00	0.00	1.00	146	58.4	69.40	-19.00
10	0	0.00	0.00	1.00	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	146.00	69.40	0.97	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	146.00	69.40	0.97	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	146.00	69.40	0.97	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	146.00	69.40	0.97	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	75.00	30.43	0.97	75	30	30.43	-16.28
10	1	146.00	69.40	0.97	146	58.4	69.40	-19.00
13	0	0.00	0.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	0	0.00	0.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	1	126.00	43.42	0.95	126	50.4	43.42	-40.00

Tabel 4. 4 Hasil optimasi pembangkitan (lanjutan)

Bus No	STAT Gen	Pg	Qg	Vg	Pmax	Pmin	Qmax	Qmin
13	1	126.00	43.42	0.95	126	50.4	43.42	-40.00
13	1	126.00	43.42	0.95	126	50.4	43.42	-40.00
13	1	126.00	43.42	0.95	126	50.4	43.42	-40.00
13	0	0.00	0.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	0	0.00	0.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
14	1	175.00	49.00	0.96	175	70	49.00	-115.23
14	1	175.00	42.54	0.96	175	70	42.54	-115.23
14	1	175.00	42.54	0.96	175	70	42.54	-115.23
14	1	175.00	42.54	0.96	175	70	42.54	-115.23
17	1	648.41	375.00	1.05	660	264	375.00	-200.00
17	1	631.77	375.00	1.05	660	264	375.00	-200.00
17	1	633.68	278.33	1.05	660	264	278.33	-107.67
17	0	0.00	0.00	1.00	660	264	278.33	-107.67
21	1	189.00	87.98	1.01	189	75.6	87.98	-47.04
21	1	112.45	52.33	1.01	112.45	44.9	52.33	-27.97
21	0	0.00	0.00	1.00	112.45	44.9	52.33	-27.97
21	1	112.45	52.33	1.01	112.45	44.9	52.33	-27.97
21	1	189.00	62.20	1.01	189	75.6	62.20	-33.60
21	0	0.00	0.00	1.00	189	75.6	62.20	-33.60
23	1	160.00	120.00	1.03	160	64	120.00	-39.84
23	0	0.00	0.00	1.00	100.75	40.3	65.86	-32.29
23	1	100.75	65.86	1.03	100.75	40.3	65.86	-32.29
23	1	100.75	65.86	1.03	100.75	40.3	65.86	-32.29
23	1	100.75	40.00	1.03	100.75	40.3	40.00	-10.00
23	0	0.00	0.00	1.00	100.75	40.3	40.00	-10.00
23	0	0.00	0.00	1.00	100.75	40.3	40.00	-10.00
25	1	334.04	107.85	1.05	400	160	247.90	-19.38
25	1	398.87	163.99	1.05	400	160	247.90	-19.38

Tabel 4. 5 Hasil optimasi pembangkitan (lanjutan)

Bus No	STAT Gen	Pg	Qg	Vg	Pmax	Pmin	Qmax	Qmin
25	1	577.76	145.58	1.05	615	246	282.11	-225.92
25	1	397.96	238.65	1.05	615	246	282.11	-225.92
25	1	538.75	378.27	1.05	615	326	398.84	-93.92
25	1	600.74	-30.38	1.05	610	244	282.52	-224.09
25	1	579.94	185.74	1.05	610	244	282.52	-224.09
25	0	0.00	0.00	1.00	650	260	402.83	-238.78
Total Pembangkitan:		12995.06	5873.80					

Tabel 4. 6 Tabel saluran hasil optimasi

From bus	To bus	Resistance (pu)	Reactance X (pu)	Line Charging	Rate MVA line	Status	Losses (MW)
1	2	0.00013	0.001449	2.09E-08	2078.5	1	0.53
1	2	0.00013	0.001449	2.09E-08	2078.5	1	0.53
1	4	0.000754	0.00724	1.04E-07	1714.7	1	11.95
1	4	0.000754	0.00724	1.04E-07	1714.7	1	11.95
2	8	0.001313	0.014691	2.12E-07	2078.5	1	11.66
6	8	0.000444	0.004268	6.11E-08	1714.7	1	3.37
6	3	0.000197	0.001892	2.71E-08	1714.7	1	0.21
7	4	0.000545	0.005236	7.50E-08	1714.7	1	5.63
7	4	0.000541	0.005202	7.45E-08	1714.7	1	5.67
7	5	0.000302	0.003381	4.88E-08	2078.5	1	0.39
7	5	0.000302	0.003381	4.88E-08	2078.5	1	0.39
8	14	0.000807	0.009031	1.30E-07	2078.5	1	0.16
8	14	0.000841	0.009412	1.36E-07	2078.5	1	0.15
9	8	0.000164	0.001576	2.26E-08	1714.7	1	0.03
9	8	0.000164	0.001576	2.26E-08	1714.7	1	0.03
9	7	8.79E-05	0.000845	1.21E-08	1714.7	1	0.08
9	7	8.79E-05	0.000845	1.21E-08	1714.7	1	0.08

Tabel 4. 7 Tabel saluran hasil optimasi (lanjutan)

From bus	To bus	Resistance (pu)	Reactance X (pu)	Line Charging	Rate MVA line	Status	Losses (MW)
10	8	0.000592	0.005686	8.14E-08	1714.7	1	0.36
10	3	0.000479	0.004605	6.60E-08	1714.7	1	4.58
11	9	0.002767	0.030955	4.46E-07	2078.5	1	0.07
11	9	0.002767	0.030955	4.46E-07	2078.5	1	0.07
12	13	0.000539	0.00518	7.42E-08	1714.7	1	0.13
12	13	0.000539	0.00518	7.42E-08	1714.7	1	0.13
12	10	0.000565	0.005427	7.77E-08	1714.7	1	0.95
12	10	0.000565	0.005427	7.77E-08	1714.7	1	0.95
14	15	0.000378	0.004223	6.09E-08	2078.5	1	0.06
14	15	0.000378	0.004223	6.09E-08	2078.5	1	0.06
14	13	0.000295	0.002838	4.06E-08	1714.7	1	0.15
14	13	0.000295	0.002838	4.06E-08	1714.7	1	0.15
16	15	0.001399	0.013444	1.93E-07	1714.7	1	0.95
16	15	0.001399	0.013444	1.93E-07	1714.7	1	0.95
16	18	0.002612	0.025099	3.59E-07	1714.7	1	1.69
16	18	0.002607	0.025042	3.59E-07	1714.7	1	1.70
18	19	0.000883	0.008479	1.21E-07	1714.7	1	2.28
18	20	0.002434	0.023387	3.35E-07	1714.7	1	1.13
18	17	0.001353	0.015141	2.18E-07	2078.5	1	10.34
18	17	0.001353	0.015141	2.18E-07	2078.5	1	10.34
19	24	0.002032	0.022734	3.28E-07	2078.5	1	1.81
19	24	0.002032	0.022734	3.28E-07	2078.5	1	1.81
19	11	0.003052	0.034145	4.92E-07	2078.5	1	0.94
19	11	0.003052	0.034145	4.92E-07	2078.5	1	0.94
20	22	0.000558	0.00536	7.68E-08	1714.7	1	0.95
21	22	0.000281	0.002696	3.86E-08	1714.7	1	0.14
21	22	0.00027	0.00259	3.71E-08	1714.7	1	0.15
22	18	0.003131	0.030077	4.31E-07	1714.7	1	1.81

Tabel 4. 8 Tabel saluran hasil optimasi (lanjutan)

From bus	To bus	Resistance (pu)	Reactance X (pu)	Line Charging	Rate MVA line	Status	Losses (MW)
22	23	0.000928	0.010378	1.50E-07	2078.5	1	3.05
22	23	0.000928	0.010378	1.50E-07	2078.5	1	3.05
25	23	0.000883	0.009873	1.42E-07	2078.5	1	3.78
25	23	0.000883	0.009873	1.42E-07	2078.5	1	3.78
25	24	0.002099	0.023486	3.39E-07	2078.5	1	11.04
25	24	0.002099	0.023486	3.39E-07	2078.5	1	11.04
Total Losses:							134.14

Dari tabel 4.2, 4.3, dan 4.4 dapat dilihat bahwa hasil operasi optimum sistem jamali 500kV menghasilkan nilai total pembangkitan sebesar 12995.06 MW dengan *total losses* atau rugi – rugi sebesar 134.14 MW untuk memenuhi kebutuhan beban yang sebesar 12861 MW.

4.3 Optimasi Power Flow Sistem Jamali saluran 500kV dengan mempertimbangkan kontingensi lepasnya saluran N-1

Simulasi *OPF* dengan mempertimbangkan kontingensi adalah lepasnya satu saluran dengan tujuan untuk menganalisa keandalan sistem. Berikut adalah daftar saluran 500kV pada sistem pln jamali:

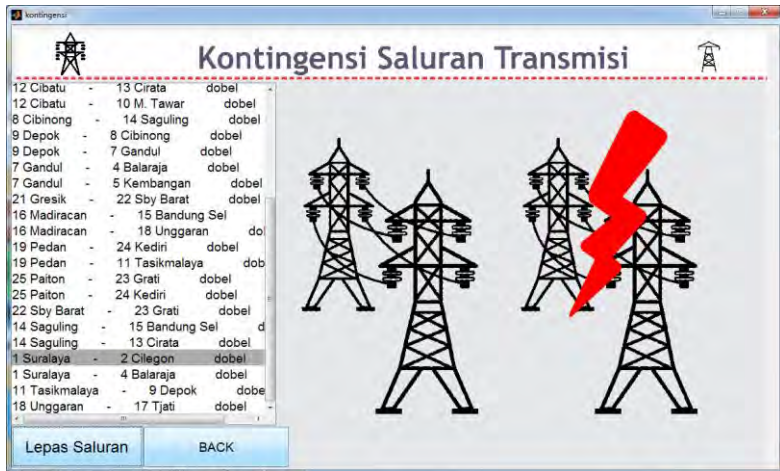
Tabel 4. 9 List saluran jamali 500kV

From Bus		To Bus		Feeder Type
1	Suralaya	- 2	Cilegon	dobel
1	Suralaya	- 4	Balaraja	dobel
2	Cilegon	- 8	Cibinong	single
6	Bekasi	- 8	Cibinong	single
6	Bekasi	- 3	Cawang	single
7	Gandul	- 4	Balaraja	dobel
7	Gandul	- 5	Kembangan	dobel
8	Cibinong	- 14	Saguling	dobel
9	Depok	- 8	Cibinong	dobel

Tabel 4. 10 List saluran jamali 500kV (lanutan)

From Bus	To Bus	Feeder Type			
9	Depok	-	7	Gandul	dobel
10	M. Tawar	-	8	Cibinong	single
10	M. Tawar	-	3	Cawang	single
11	Tasikmalaya	-	9	Depok	dobel
12	Cibatu	-	13	Cirata	dobel
12	Cibatu	-	10	M. Tawar	dobel
14	Saguling	-	15	Bandung Sel	dobel
14	Saguling	-	13	Cirata	dobel
16	Madiracan	-	15	Bandung Sel	dobel
16	Madiracan	-	18	Unggaran	dobel
18	Unggaran	-	19	Pedan	single
18	Unggaran	-	20	Ngimbang	single
18	Unggaran	-	17	Tjati	dobel
19	Pedan	-	24	Kediri	dobel
19	Pedan	-	11	Tasikmalaya	dobel
20	Ngimbang	-	22	Sby Barat	single
21	Gresik	-	22	Sby Barat	dobel
22	Sby Barat	-	18	Unggaran	single
22	Sby Barat	-	23	Grati	dobel
25	Paiton	-	23	Grati	dobel
25	Paiton	-	24	Kediri	dobel
19	Pedan	-	11	Tasikmalaya	dobel
20	Ngimbang	-	22	Sby Barat	single
21	Gresik	-	22	Sby Barat	dobel
22	Sby Barat	-	18	Unggaran	single
22	Sby Barat	-	23	Grati	dobel
25	Paiton	-	23	Grati	dobel
25	Paiton	-	24	Kediri	dobel

4.4 Analisa Kontingensi Lepasnya Saluran Suralaya - Cilegon



Gambar 4. 1 Lepasnya saluran Suralaya - Cilegon

Jika saluran **suralaya-cilegon** dilepas, berikut adalah hasil optimasi dengan mempertimbangkan kontingensi:

Tabel 4. 11 Tabel data bus

Bus No	BUS Type	Pd	Qd	Vm (pu)	Va (degrees)	Vmax	Vmin
1	3	159	46	1.04	0.00	1.05	0.95
2	1	314	144	1.03	-0.82	1.05	0.95
3	1	596	163	0.95	-9.07	1.05	0.95
4	1	450	160	0.99	-4.44	1.05	0.95
5	1	649	236	0.96	-7.87	1.05	0.95
6	1	1118	382	0.95	-9.43	1.05	0.95
7	1	782	91	0.97	-7.21	1.05	0.95
8	1	461	318	0.96	-7.31	1.05	0.95
9	1	432	62	0.96	-7.31	1.05	0.95
10	2	0	0	0.97	-6.53	1.05	0.95
11	1	295	109	0.95	-6.86	1.05	0.95
12	1	911	509	0.95	-7.49	1.05	0.95
13	2	626	224	0.95	-7.02	1.05	0.95
14	2	0	0	0.96	-6.65	1.05	0.95
15	1	562	268	0.95	-6.71	1.05	0.95

Tabel 4. 12 Tabel data bus (lanjutan)

Bus No	BUS Type	Pd	Qd	Vm (pu)	Va (degrees)	Vmax	Vmin
16	1	-13	18	0.96	-4.63	1.05	0.95
17	2	352	74	1.05	5.31	1.05	0.95
18	1	1007	606	0.97	-0.95	1.05	0.95
19	1	688	237	0.95	-3.25	1.05	0.95
20	1	197	34	1.00	1.65	1.05	0.95
21	2	165	89	1.01	3.14	1.05	0.95
22	1	952	180	1.01	2.82	1.05	0.95
23	2	631	303	1.03	6.02	1.05	0.95
24	1	785	279	0.97	0.67	1.05	0.95
25	2	742	123	1.05	9.38	1.05	0.95
Total Beban:		12861	4655				

Tabel 4. 13 Tabel data pembangkitan

Bus No	STAT Gen	Pg	Qg	Vg	Pmax	Pmin	Qmax	Qmin
1	1	400.00	247.90	1.04	400	160	247.90	-45.00
1	1	400.00	247.90	1.04	400	160	247.90	-30.00
1	0	0.00	0.00	1.02	400	160	247.90	-30.00
1	1	400.00	247.90	1.04	400	160	247.90	-30.00
1	1	600.00	283.33	1.04	600	240	283.33	-220.4
1	1	600.00	283.33	1.04	600	240	283.33	-220.4
1	1	600.00	312.08	1.04	600	240	312.08	-220.4
1	1	625.00	318.75	1.04	625	250	318.75	-167.8
10	1	224.00	94.00	0.97	224	89.6	94.00	-15.00
10	1	146.00	69.26	0.97	146	58.4	69.26	-18.94
10	1	146.00	69.26	0.97	146	58.4	69.26	-18.94
10	1	146.00	69.26	0.97	146	58.4	69.26	-18.94
10	1	146.00	69.26	0.97	146	58.4	69.26	-18.94
10	1	146.00	69.26	0.97	146	58.4	69.26	-18.94
10	0	0.00	0.00	1.00	146	58.4	69.40	-19.00
10	0	0.00	0.00	1.00	146	58.4	69.40	-19.00

Tabel 4. 14 Tabel data pembangkitan (lanjutan)

Bus No	STAT Gen	Pg	Qg	Vg	Pmax	Pmin	Qmax	Qmin
10	1	146.00	69.40	0.97	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	146.00	69.40	0.97	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	146.00	69.40	0.97	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	146.00	69.40	0.97	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	75.00	30.43	0.97	75	30	30.43	-16.28
10	1	146.00	69.40	0.97	146	58.4	69.40	-19.00
13	0	0.00	0.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	0	0.00	0.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	1	126.00	43.42	0.95	126	50.4	43.42	-40.00
13	1	126.00	43.42	0.95	126	50.4	43.42	-40.00
13	1	126.00	43.42	0.95	126	50.4	43.42	-40.00
13	1	126.00	43.42	0.95	126	50.4	43.42	-40.00
13	0	0.00	0.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	0	0.00	0.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
14	1	175.00	49.00	0.96	175	70	49.00	-115.2
14	1	175.00	42.54	0.96	175	70	42.54	-115.2
14	1	175.00	42.54	0.96	175	70	42.54	-115.2
14	1	175.00	42.54	0.96	175	70	42.54	-115.2
17	1	638.07	375.00	1.05	660	264	375.00	-200.0
17	1	632.36	375.00	1.05	660	264	375.00	-200.0
17	1	635.23	278.33	1.05	660	264	278.33	-107.6
17	0	0.00	0.00	1.00	660	264	278.33	-107.6
21	1	189.00	87.98	1.01	189	75.6	87.98	-47.04
21	1	112.45	52.33	1.01	112.4	44.98	52.33	-27.97
21	0	0.00	0.00	1.00	112.4	44.98	52.33	-27.97
21	1	112.45	52.33	1.01	112.4	44.98	52.33	-27.97
21	1	189.00	62.20	1.01	189	75.6	62.20	-33.60
21	0	0.00	0.00	1.00	189	75.6	62.20	-33.60

Tabel 4. 15 Tabel data pembangkitan (lanjutan)

Bus No	STAT Gen	Pg	Qg	Vg	Pmax	Pmin	Qmax	Qmin
23	1	160.00	120.00	1.03	160	64	120.00	-39.84
23	0	0.00	0.00	1.00	100.7	40.3	65.86	-32.29
23	1	100.75	65.86	1.03	100.7	40.3	65.86	-32.29
23	1	100.75	65.86	1.03	100.7	40.3	65.86	-32.29
23	1	100.75	40.00	1.03	100.7	40.3	40.00	-10.00
23	0	0.00	0.00	1.00	100.7	40.3	40.00	-10.00
23	0	0.00	0.00	1.00	100.7	40.3	40.00	-10.00
25	1	377.61	201.00	1.05	400	160	247.90	-19.38
25	1	368.48	184.19	1.05	400	160	247.90	-19.38
25	1	500.68	9.68	1.05	615	246	282.11	-225.9
25	1	514.98	174.93	1.05	615	246	282.11	-225.9
25	1	570.42	199.80	1.05	615	326	398.84	-93.9
25	1	537.06	218.17	1.05	610	244	282.52	-224.0
25	1	568.31	204.38	1.05	610	244	282.52	-224.0
25	0	0.00	0.00	1.00	650	260	402.83	-238.7
Total Pembangkitan:		12996.3	5876.26					

Tabel 4. 16 Tabel saluran

From bus	To bus	Resistance (pu)	Reactance X (pu)	Line Charging	Rate MVA	Status	Losses (MW)
1	2	0.00013	0.001449	2.09E-08	2078.5	0	0.00
1	2	0.00013	0.001449	2.09E-08	2078.5	1	1.98
1	4	0.000754	0.00724	1.04E-07	1714.7	1	12.30
1	4	0.000754	0.00724	1.04E-07	1714.7	1	12.30
2	8	0.001313	0.014691	2.12E-07	2078.5	1	10.67
6	8	0.000444	0.004268	6.11E-08	1714.7	1	3.36
6	3	0.000197	0.001892	2.71E-08	1714.7	1	0.21
7	4	0.000545	0.005236	7.50E-08	1714.7	1	5.83
7	4	0.000541	0.005202	7.45E-08	1714.7	1	5.87
7	5	0.000302	0.003381	4.88E-08	2078.5	1	0.39
7	5	0.000302	0.003381	4.88E-08	2078.5	1	0.39

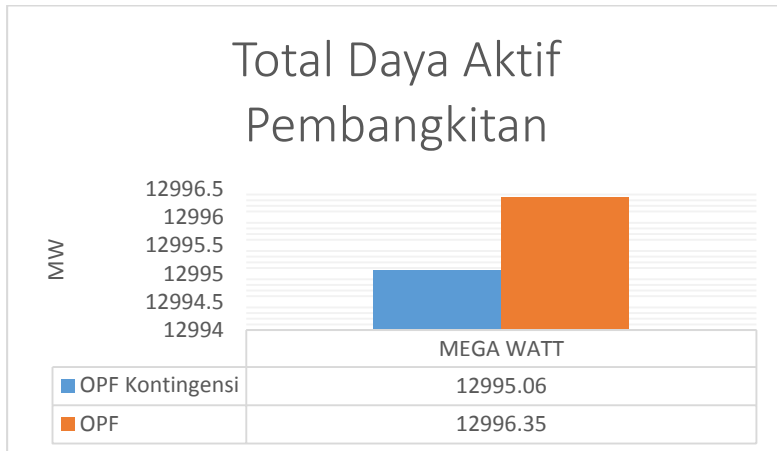
Tabel 4. 17 Tabel saluran (lanjutan)

From bus	To bus	Resistance (pu)	Reactance X (pu)	Line Charging	Rate MVA	Status	Losses (MW)
8	14	0.000807	0.009031	1.30E-07	2078.5	1	0.16
8	14	0.000841	0.009412	1.36E-07	2078.5	1	0.15
9	8	0.000164	0.001576	2.26E-08	1714.7	1	0.03
9	8	0.000164	0.001576	2.26E-08	1714.7	1	0.03
9	7	8.79E-05	0.000845	1.21E-08	1714.7	1	0.08
9	7	8.79E-05	0.000845	1.21E-08	1714.7	1	0.08
10	8	0.000592	0.005686	8.14E-08	1714.7	1	0.36
10	3	0.000479	0.004605	6.60E-08	1714.7	1	4.58
11	9	0.002767	0.030955	4.46E-07	2078.5	1	0.07
11	9	0.002767	0.030955	4.46E-07	2078.5	1	0.07
12	13	0.000539	0.00518	7.42E-08	1714.7	1	0.13
12	13	0.000539	0.00518	7.42E-08	1714.7	1	0.13
12	10	0.000565	0.005427	7.77E-08	1714.7	1	0.95
12	10	0.000565	0.005427	7.77E-08	1714.7	1	0.95
14	15	0.000378	0.004223	6.09E-08	2078.5	1	0.06
14	15	0.000378	0.004223	6.09E-08	2078.5	1	0.06
14	13	0.000295	0.002838	4.06E-08	1714.7	1	0.15
14	13	0.000295	0.002838	4.06E-08	1714.7	1	0.15
16	15	0.001399	0.013444	1.93E-07	1714.7	1	0.95
16	15	0.001399	0.013444	1.93E-07	1714.7	1	0.95
16	18	0.002612	0.025099	3.59E-07	1714.7	1	1.70
16	18	0.002607	0.025042	3.59E-07	1714.7	1	1.70
18	19	0.000883	0.008479	1.21E-07	1714.7	1	2.25
18	20	0.002434	0.023387	3.35E-07	1714.7	1	1.15
18	17	0.001353	0.015141	2.18E-07	2078.5	1	10.26
18	17	0.001353	0.015141	2.18E-07	2078.5	1	10.26
19	24	0.002032	0.022734	3.28E-07	2078.5	1	1.84
19	24	0.002032	0.022734	3.28E-07	2078.5	1	1.84
19	11	0.003052	0.034145	4.92E-07	2078.5	1	0.94
19	11	0.003052	0.034145	4.92E-07	2078.5	1	0.94
20	22	0.000558	0.00536	7.68E-08	1714.7	1	0.96
21	22	0.000281	0.002696	3.86E-08	1714.7	1	0.14
21	22	0.00027	0.00259	3.71E-08	1714.7	1	0.15
22	18	0.003131	0.030077	4.31E-07	1714.7	1	1.84
22	23	0.000928	0.010378	1.50E-07	2078.5	1	3.08
22	23	0.000928	0.010378	1.50E-07	2078.5	1	3.08
25	23	0.000883	0.009873	1.42E-07	2078.5	1	3.81
25	23	0.000883	0.009873	1.42E-07	2078.5	1	3.81

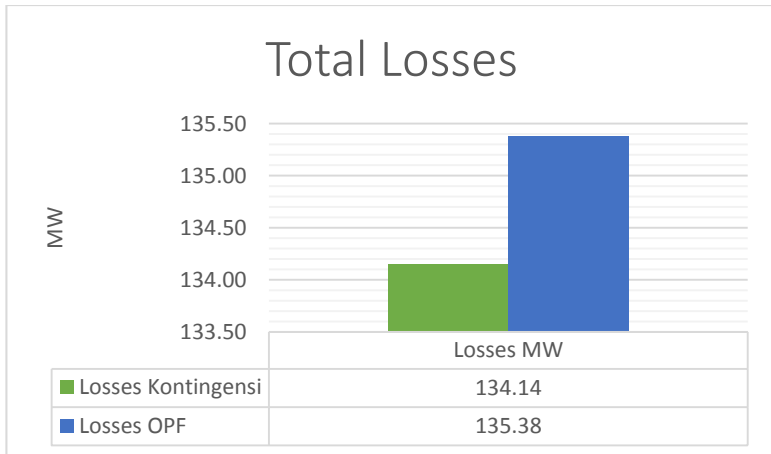
Tabel 4. 18 Tabel saluran (lanjutan)

From bus	To bus	Resistance (pu)	Reactance X (pu)	Line Charging	Rate MVA	Status	Losses (MW)
25	24	0.002099	0.023486	3.39E-07	2078.5	1	11.10
25	24	0.002099	0.023486	3.39E-07	2078.5	1	11.10
Total Losses:							135.38

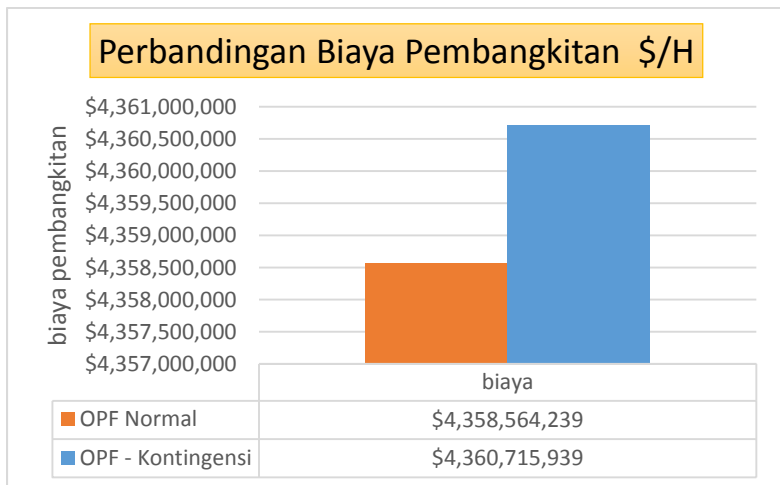
Perbandingan total nilai pembangkitan daya aktif, reaktif dan losses pada hasil *OPF* dan *OPF* dengan mempertimbangkan kontingensi dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 2 Perbandingan pembangkitan daya aktif



Gambar 4. 3 Perbandingan Losses

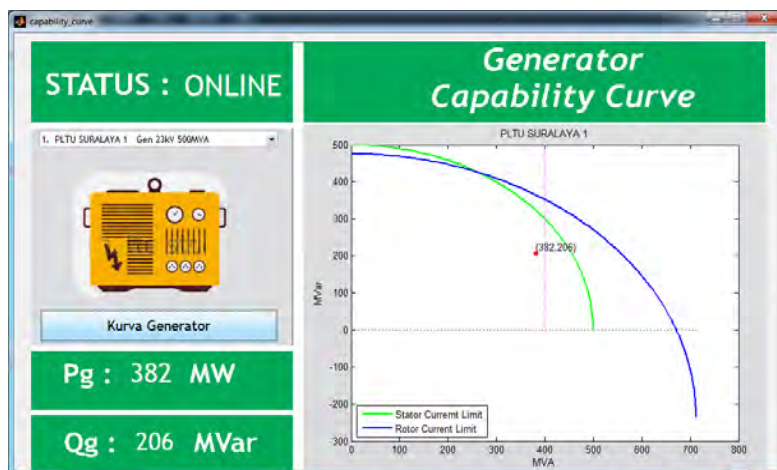


Gambar 4. 4 Perbandingan total biaya pembangkitan

Berdasarkan data pada gambar 4.2 hingga 4.4 analisa hasil analisa kontingensi menunjukkan bahwa apabila terjadi kontingensi saluran

Suralaya-Cilegon nilai pembangkitan yang dihasilkan lebih kecil daripada hasil optimasi sebelumnya. Sedangkan perbandingan biaya pembangkitan, nilai biaya pada analisa kontingensi menunjukkan lebih mahal \$2,151,699.53 / hour lebih mahal dibandingkan dengan biaya pembangkitan hasil optimasi sebelumnya, perbandingan tersebut ditunjukkan pada gambar 4.5.

4.5 Kurva Kapabilitas Generator



Gambar 4. 5 Kurva kapabilitas generator

Contoh salah satu tampilan kurva kapabilitas generator yang ditampilkan dalam simulator. Garis biru mewakili batasan arus rotor, garis hijau untuk batasan rating generator, dan garis hitam adalah batasan prime mover limit generator yaitu Pmax. Titik merah yang diberi keterangan koordinat (x,y). X menunjukkan nilai Pg (daya aktif pembangkitan) dan y menunjukkan Qg (daya reaktif pembangkitan).

Berikut adalah data pembangkitan dari seluruh generator hasil dari optimasi aliran daya pada sistem jamali 500kV yang ditunjukkan pada gambar 4.6 hingga 4.13.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari simulasi dan analisis yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Optimation Software* telah mampu untuk melakukan perhitungan optimasi aliran daya dengan total biaya pembangkitan untuk sistem jamali saluran 500kV sebesar \$4,358,564,239 \$/h.
2. Program telah terintegrasi dengan sistem *online* dan mampu untuk melakukan perhitungan ACOPF untuk *plant* jamali 500kV dengan mempertimbangkan kontingensi.
3. Hasil analisa kontingensi lepasnya satu saluran pada saluran transmisi *double circuit* Suralaya-Cilegon menunjukkan sistem masih bisa mempertahankan tegangan dan kebutuhan daya beban walaupun biayanya lebih mahal dari hasil optimasi sebelumnya tanpa adanya saluran yang terlepas.
4. Parameter perhitungan sudut tegangan, *magnitude*, daya aktif, dan reaktif dan *online software* dapat menghasilkan nilai yang lebih akurat.
5. Perhitungan dengan menggunakan *software* yang terintegrasi online dapat berjalan dengan baik dan dapat membantu pengguna dalam penyaluran informasi pembangkitan generator.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya pada bidang sistem operasi sistem tenaga berdasarkan hasil simulasi dan analisis pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Proses perhitungan aliran daya optimal pada sistem PLN jamali 500kV dapat ditambahkan dengan beban yang berubah-ubah tiap waktu (*Dynamic OPF*)
2. Hasil perhitungan optimasi *software* dapat diintegrasikan dan diimplementasikan dengan sebuah alat yang dapat mengatur pembangkitan generator dengan otomatis tanpa harus melibatkan operator di pembangkitan sehingga tugas operator hanya cukup sebagai pengawas

LAMPIRAN

Tabel 1. Data Bus Jawa Bali

Bus No	BUS Type	Pd	Qd	Vm(pu)	Va(degrees)	Base Kv	Vmax	Vmin
1	3	159	46	1	0	500	1.05	0.95
2	1	314	144	1	0	500	1.05	0.95
3	1	596	163	1	0	500	1.05	0.95
4	1	450	160	1	0	500	1.05	0.95
5	1	649	236	1	0	500	1.05	0.95
6	1	1118	382	1	0	500	1.05	0.95
7	1	782	91	1	0	500	1.05	0.95
8	1	461	318	1	0	500	1.05	0.95
9	1	432	62	1	0	500	1.05	0.95
10	2	0	0	1	0	500	1.05	0.95
11	1	295	109	1	0	500	1.05	0.95
12	1	911	509	1	0	500	1.05	0.95
13	2	626	224	1	0	500	1.05	0.95
14	2	0	0	1	0	500	1.05	0.95
15	1	562	268	1	0	500	1.05	0.95
16	1	-13	18	1	0	500	1.05	0.95
17	2	352	74	1	0	500	1.05	0.95
18	1	1007	606	1	0	500	1.05	0.95
19	1	688	237	1	0	500	1.05	0.95
20	1	197	34	1	0	500	1.05	0.95
21	2	165	89	1	0	500	1.05	0.95
22	1	952	180	1	0	500	1.05	0.95
23	2	631	303	1	0	500	1.05	0.95
24	1	785	279	1	0	500	1.05	0.95
25	2	742	123	1	0	500	1.05	0.95

Tabel 2. Data Pembangkitan Jawa Bali

Bus No	STATUS Gen	Pg	Qg	Vg	Pmax	Pmin	Qmax	Qmin
1	1	383.83	113.81	1.02	400	160	247.90	-45.00
1	1	385.80	117.26	1.02	400	160	247.90	-30.00
1	0	0.00	0.00	1.02	400	160	247.90	-30.00
1	1	379.89	79.32	1.02	400	160	247.90	-30.00
1	1	564.41	160.16	1.02	600	240	283.33	-220.41
1	1	578.52	187.46	1.02	600	240	283.33	-220.41
1	1	574.99	187.46	1.02	600	240	312.08	-220.41
1	1	419.99	114.20	1.02	625	250	318.75	-167.84
10	1	203.96	84.53	1.00	224	89.6	94.00	-15.00
10	1	136.06	49.77	1.00	146	58.4	69.26	-18.94
10	1	135.53	66.54	1.00	146	58.4	69.26	-18.94
10	1	136.75	66.27	1.00	146	58.4	69.26	-18.94
10	1	130.36	48.54	1.00	146	58.4	69.26	-18.94
10	1	130.47	51.44	1.00	146	58.4	69.26	-18.94
10	0	0.00	0.00	1.00	146	58.4	69.40	-19.00
10	0	0.00	0.00	1.00	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	139.39	78.62	1.00	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	141.49	77.66	1.00	146	58.4	69.40	-19.00

Tabel 2. Data Pembangkitan Jawa Bali (lanjutan)

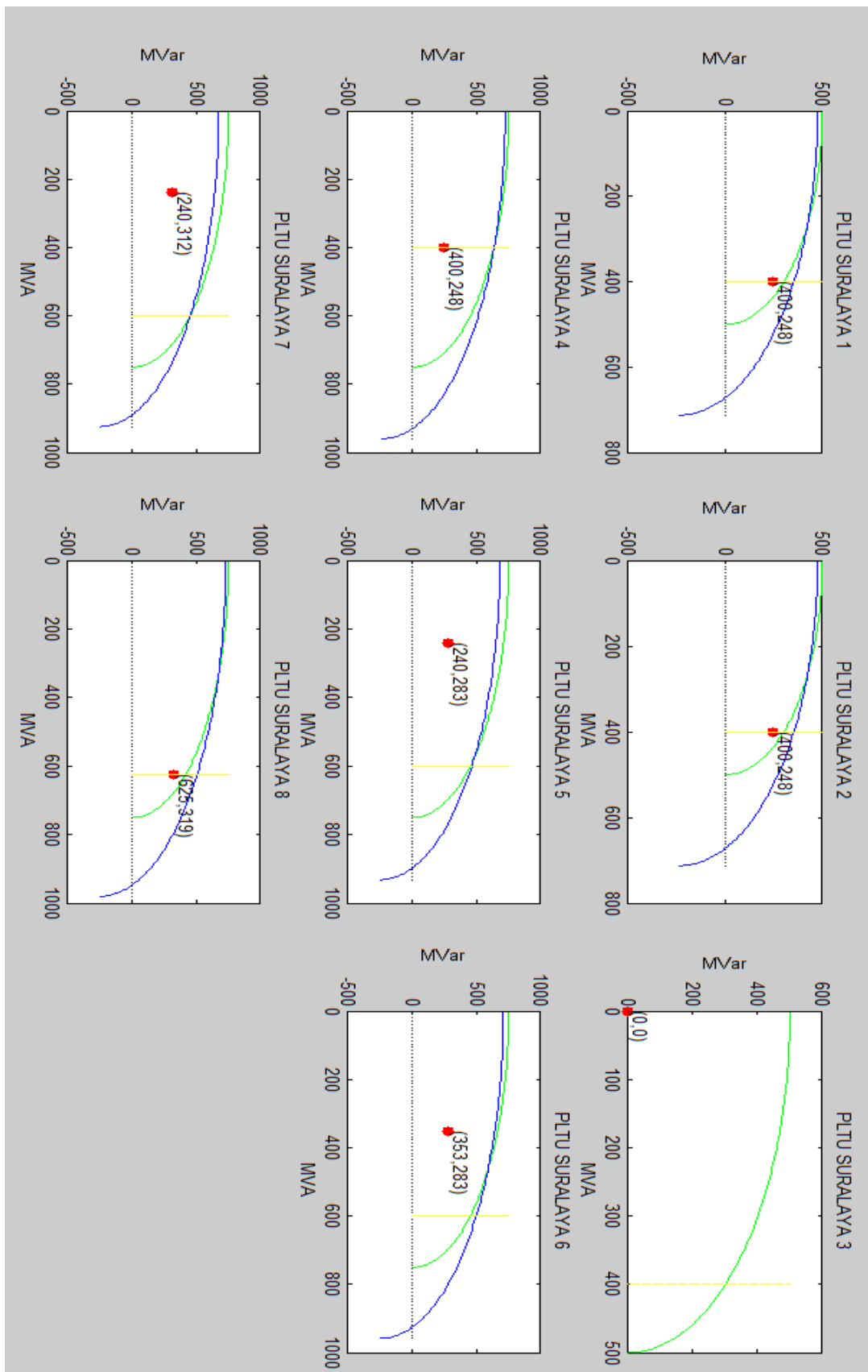
Bus No	STATUS Gen	Pg	Qg	Vg	Pmax	Pmin	Qmax	Qmin
10	1	136.13	76.80	1.00	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	141.36	79.79	1.00	146	58.4	69.40	-19.00
10	1	71.00	43.00	1.00	75	30	30.43	-16.28
10	1	141.00	81.00	1.00	146	58.4	69.40	-19.00
13	0	0.00	0.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	0	0.00	0.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	1	87.00	42.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	1	87.00	39.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	1	85.00	41.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	1	85.00	41.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	0	0.00	0.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
13	0	0.00	0.00	1.00	126	50.4	43.42	-40.00
14	1	126.97	38.40	1.00	175	70	49.00	-115.23
14	1	130.91	35.69	1.00	175	70	42.54	-115.23
14	1	133.86	33.48	1.00	175	70	42.54	-115.23
14	1	0.00	0.00	0.00	175	70	42.54	-115.23
17	1	660.00	88.00	1.00	660	264	375.00	-200.00
17	1	661.00	85.00	1.00	660	264	375.00	-200.00
17	1	657.00	92.00	1.00	660	264	278.33	-107.67
17	0	661.00	95.00	1.00	660	264	278.33	-107.67
21	1	75.43	49.61	1.00	189	75.6	87.98	-47.04
21	1	82.58	45.67	1.00	112.45	44.98	52.33	-27.97
21	0	0.00	0.00	1.00	112.45	44.98	52.33	-27.97
21	1	78.64	-27.97	1.00	112.45	44.98	52.33	-27.97
21	1	82.52	72.05	1.00	189	75.6	62.20	-33.60
21	0	0.00	0.00	1.00	189	75.6	62.20	-33.60
23	1	109.84	36.23	1.00	160	64	120.00	-39.84
23	0	k	0.00	1.00	100.75	40.3	65.86	-32.29
23	1	101.57	36.23	1.00	100.75	40.3	65.86	-32.29
23	1	102.17	45.68	1.00	100.75	40.3	65.86	-32.29
23	1	31.00	14.17	1.00	100.75	40.3	40.00	-10.00
23	0	0.00	0.00	1.00	100.75	40.3	40.00	-10.00
23	0	0.00	0.00	1.00	100.75	40.3	40.00	-10.00
25	1	337.52	61.42	1.00	400	160	247.90	-19.38
25	1	357.50	37.80	1.00	400	160	247.90	-19.38
25	1	613.94	141.26	1.00	615	246	282.11	-225.92
25	1	613.94	135.83	1.00	615	246	282.11	-225.92
25	1	610.00	201.00	1.00	615	326	398.84	-93.92
25	1	609.06	119.69	1.00	610	244	282.52	-224.09
25	1	611.81	119.69	1.00	610	244	282.52	-224.09
25	0	321.00	50.00	1.00	650	260	402.83	-238.78

Tabel 3. Data Saluran Jawa Bali

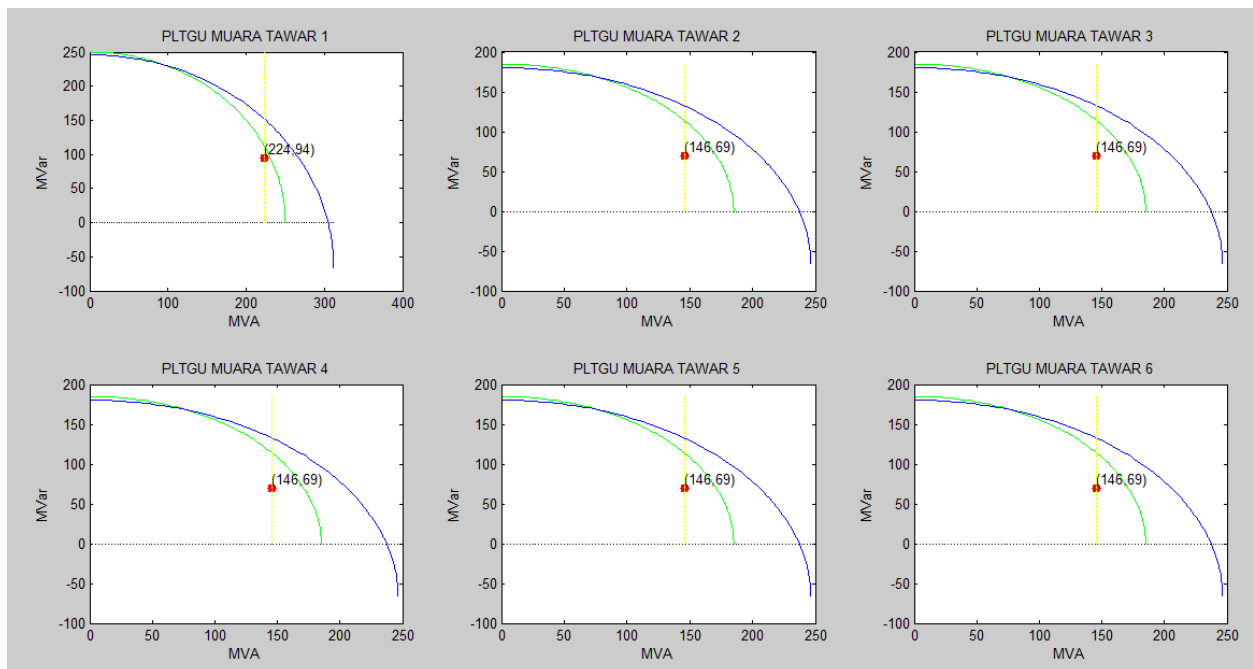
BUS		Resistance (pu)	Reactance X (pu)	Line Charging	Rate MVA line
From	To				
1	2	0.00013	0.001449	2.09E-08	2078.5
1	2	0.00013	0.001449	2.09E-08	2078.5
1	4	0.000754	0.00724	1.04E-07	1714.7
1	4	0.000754	0.00724	1.04E-07	1714.7
2	8	0.001313	0.014691	2.12E-07	2078.5
6	8	0.000444	0.004268	6.11E-08	1714.7
6	3	0.000197	0.001892	2.71E-08	1714.7
7	4	0.000545	0.005236	7.50E-08	1714.7
7	4	0.000541	0.005202	7.45E-08	1714.7
7	5	0.000302	0.003381	4.88E-08	2078.5
7	5	0.000302	0.003381	4.88E-08	2078.5
8	14	0.000807	0.009031	1.30E-07	2078.5
8	14	0.000841	0.009412	1.36E-07	2078.5
9	8	0.000164	0.001576	2.26E-08	1714.7
9	8	0.000164	0.001576	2.26E-08	1714.7
9	7	8.79E-05	0.000845	1.21E-08	1714.7
9	7	8.79E-05	0.000845	1.21E-08	1714.7
10	8	0.000592	0.005686	8.14E-08	1714.7
10	3	0.000479	0.004605	6.60E-08	1714.7
11	9	0.002767	0.030955	4.46E-07	2078.5
11	9	0.002767	0.030955	4.46E-07	2078.5
12	13	0.000539	0.00518	7.42E-08	1714.7
12	13	0.000539	0.00518	7.42E-08	1714.7
12	10	0.000565	0.005427	7.77E-08	1714.7
12	10	0.000565	0.005427	7.77E-08	1714.7
14	15	0.000378	0.004223	6.09E-08	2078.5
14	15	0.000378	0.004223	6.09E-08	2078.5
14	13	0.000295	0.002838	4.06E-08	1714.7
14	13	0.000295	0.002838	4.06E-08	1714.7
16	15	0.001399	0.013444	1.93E-07	1714.7
16	15	0.001399	0.013444	1.93E-07	1714.7
16	18	0.002612	0.025099	3.59E-07	1714.7
16	18	0.002607	0.025042	3.59E-07	1714.7
18	19	0.000883	0.008479	1.21E-07	1714.7
18	20	0.002434	0.023387	3.35E-07	1714.7
18	17	0.001353	0.015141	2.18E-07	2078.5
18	17	0.001353	0.015141	2.18E-07	2078.5
19	24	0.002032	0.022734	3.28E-07	2078.5
19	24	0.002032	0.022734	3.28E-07	2078.5
19	11	0.003052	0.034145	4.92E-07	2078.5

Tabel 3. Data Saluran (lanjutan)

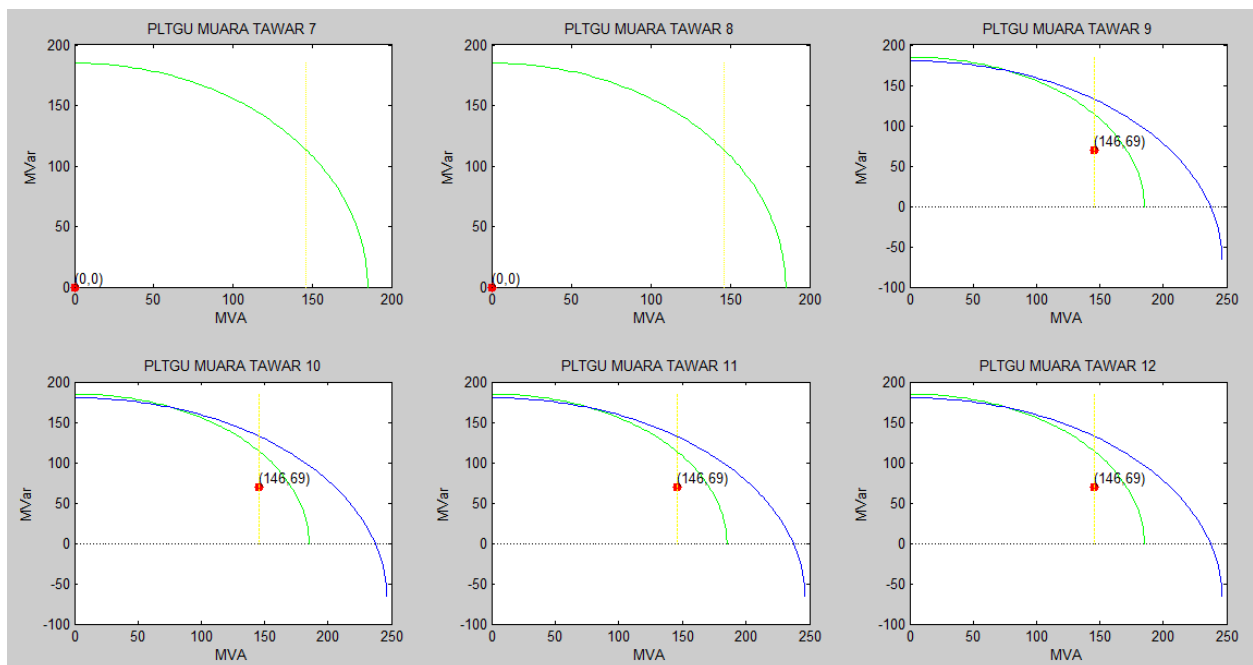
BUS		Resistance (pu)	Reactance X (pu)	Line Charging	Rate MVA line
19	11	0.003052	0.034145	4.92E-07	2078.5
20	22	0.000558	0.00536	7.68E-08	1714.7
21	22	0.000281	0.002696	3.86E-08	1714.7
21	22	0.00027	0.00259	3.71E-08	1714.7
22	18	0.003131	0.030077	4.31E-07	1714.7
22	23	0.000928	0.010378	1.50E-07	2078.5
22	23	0.000928	0.010378	1.50E-07	2078.5
25	23	0.000883	0.009873	1.42E-07	2078.5
25	23	0.000883	0.009873	1.42E-07	2078.5
25	24	0.002099	0.023486	3.39E-07	2078.5
25	24	0.002099	0.023486	3.39E-07	2078.5



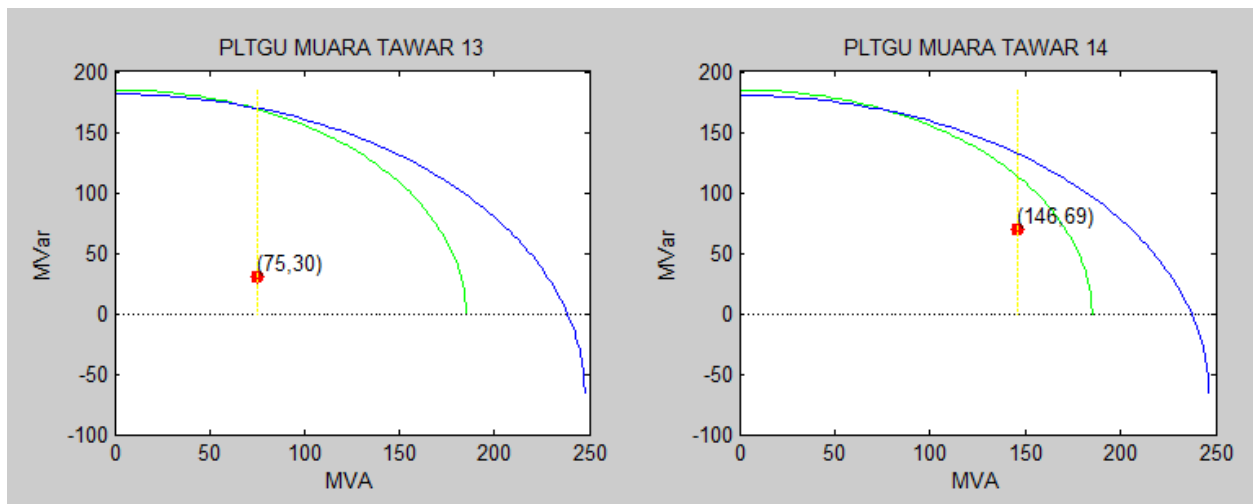
Gambar 1 kurva kapabilitas generator pada bus Suralaya



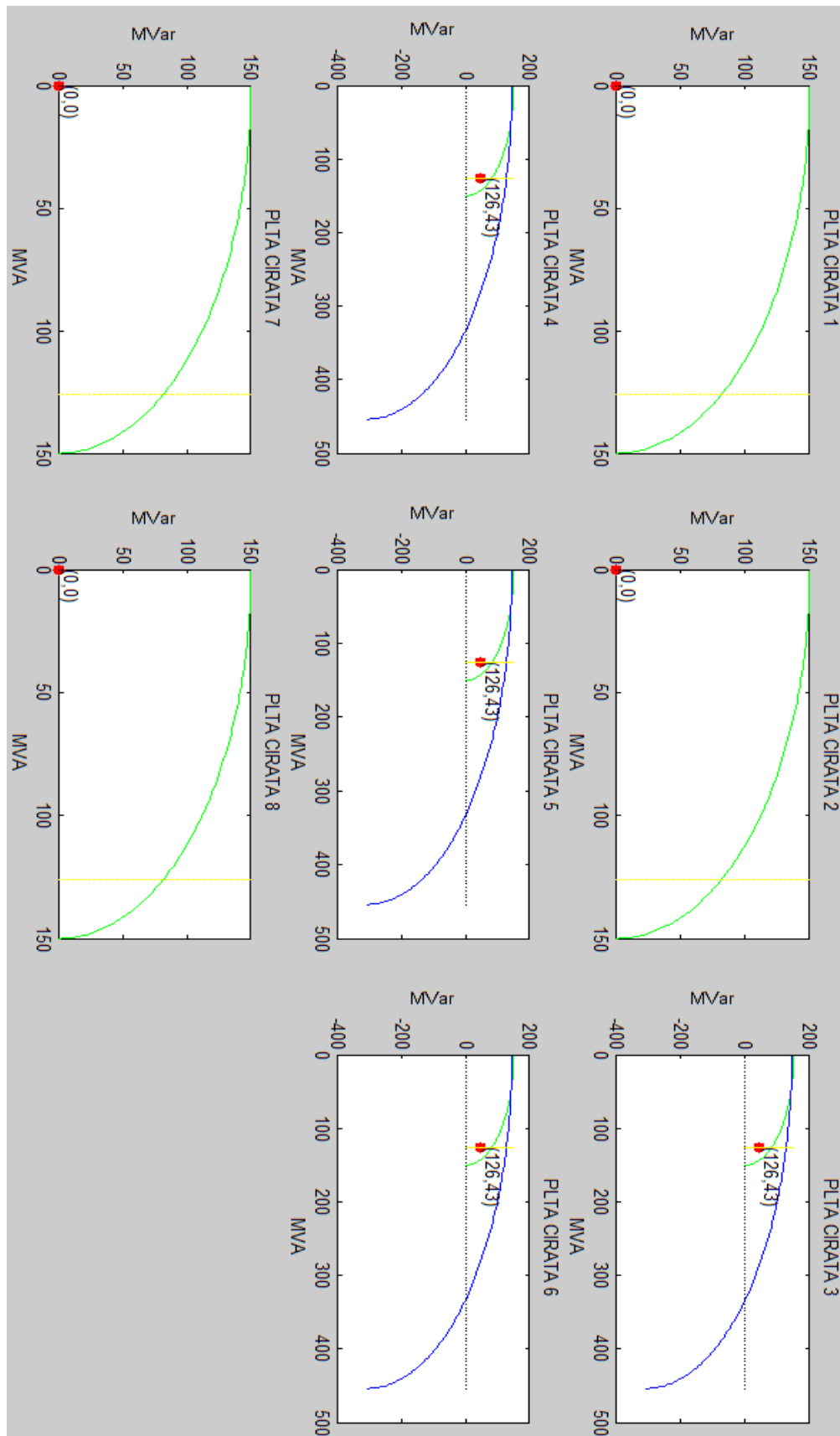
Gambar 2 kurva kapabilitas generator pada bus Muara Tawar-1



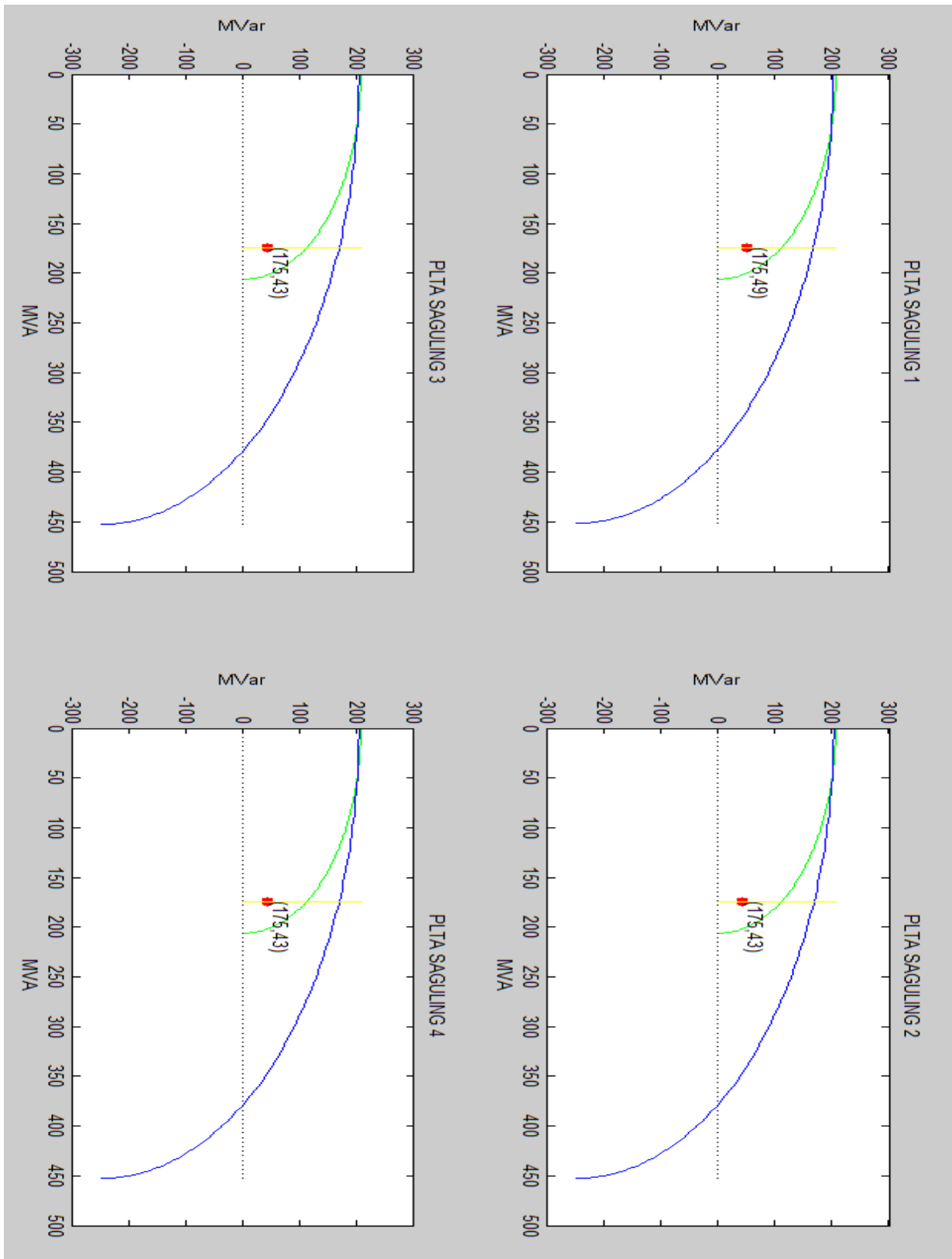
Gambar 3 kurva kapabilitas generator pada bus Muara Tawar-2



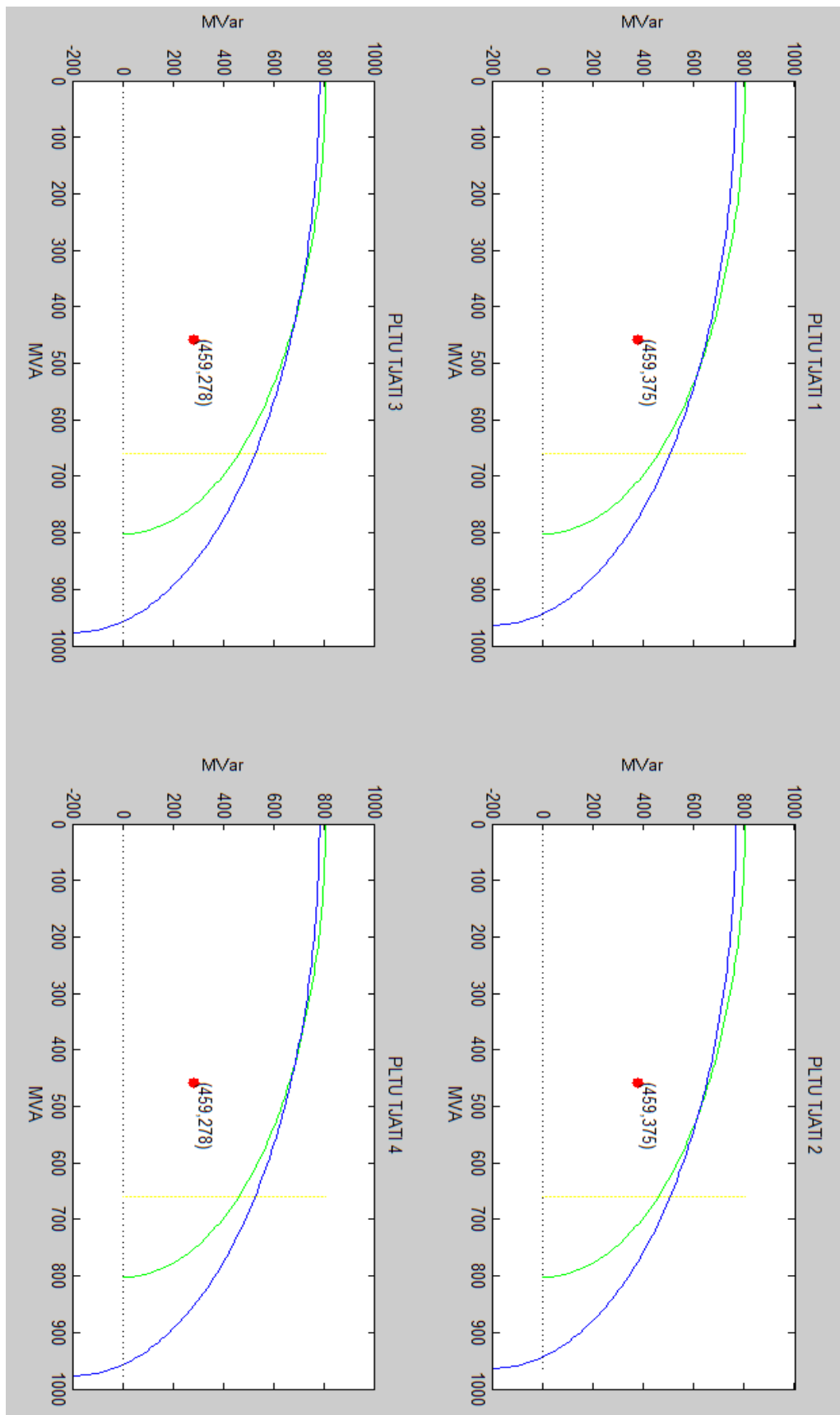
Gambar 4 kurva kapabilitas generator pada bus Muara Tawar-3



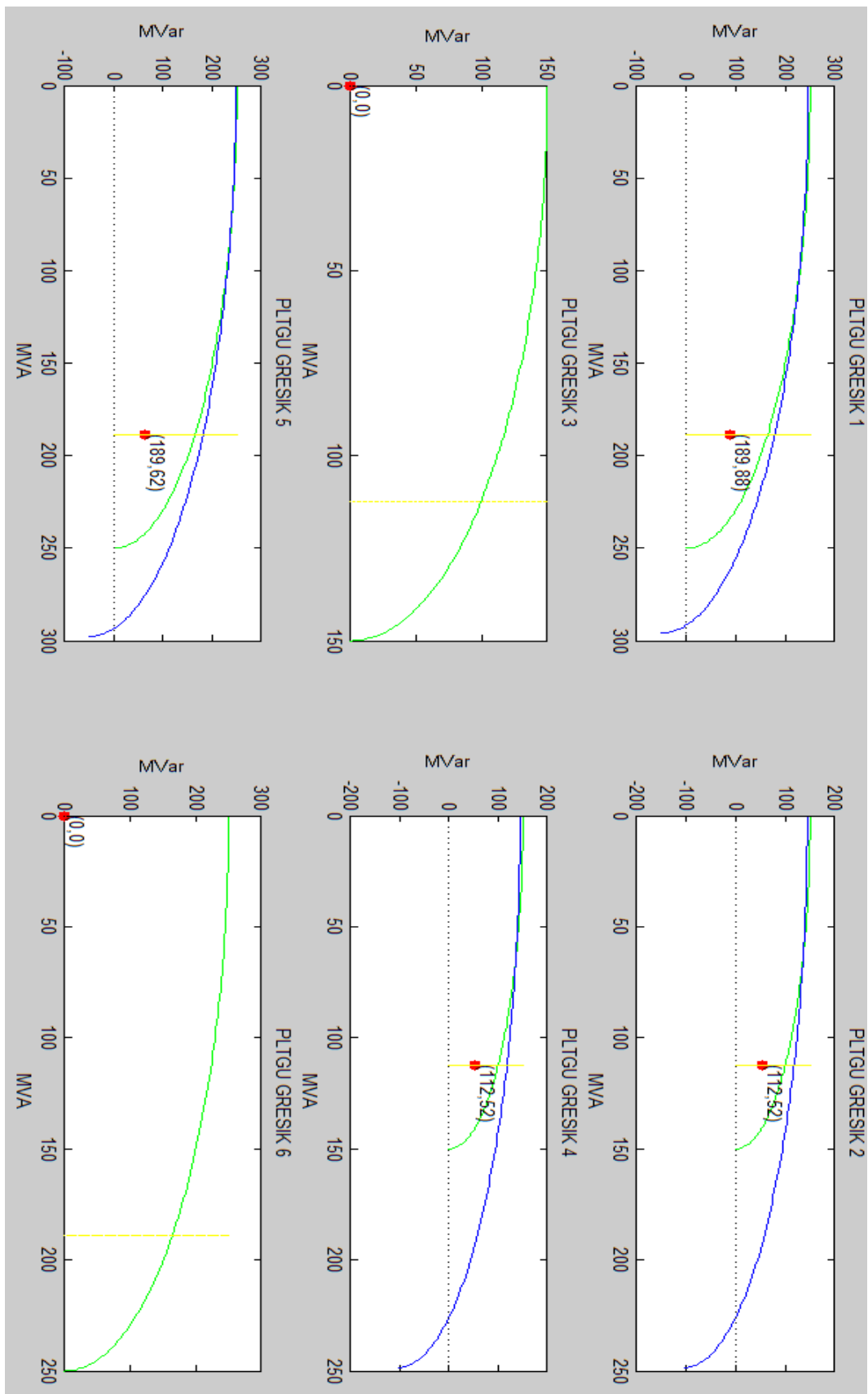
Gambar 5 kurva kapabilitas generator pada bus Cirata



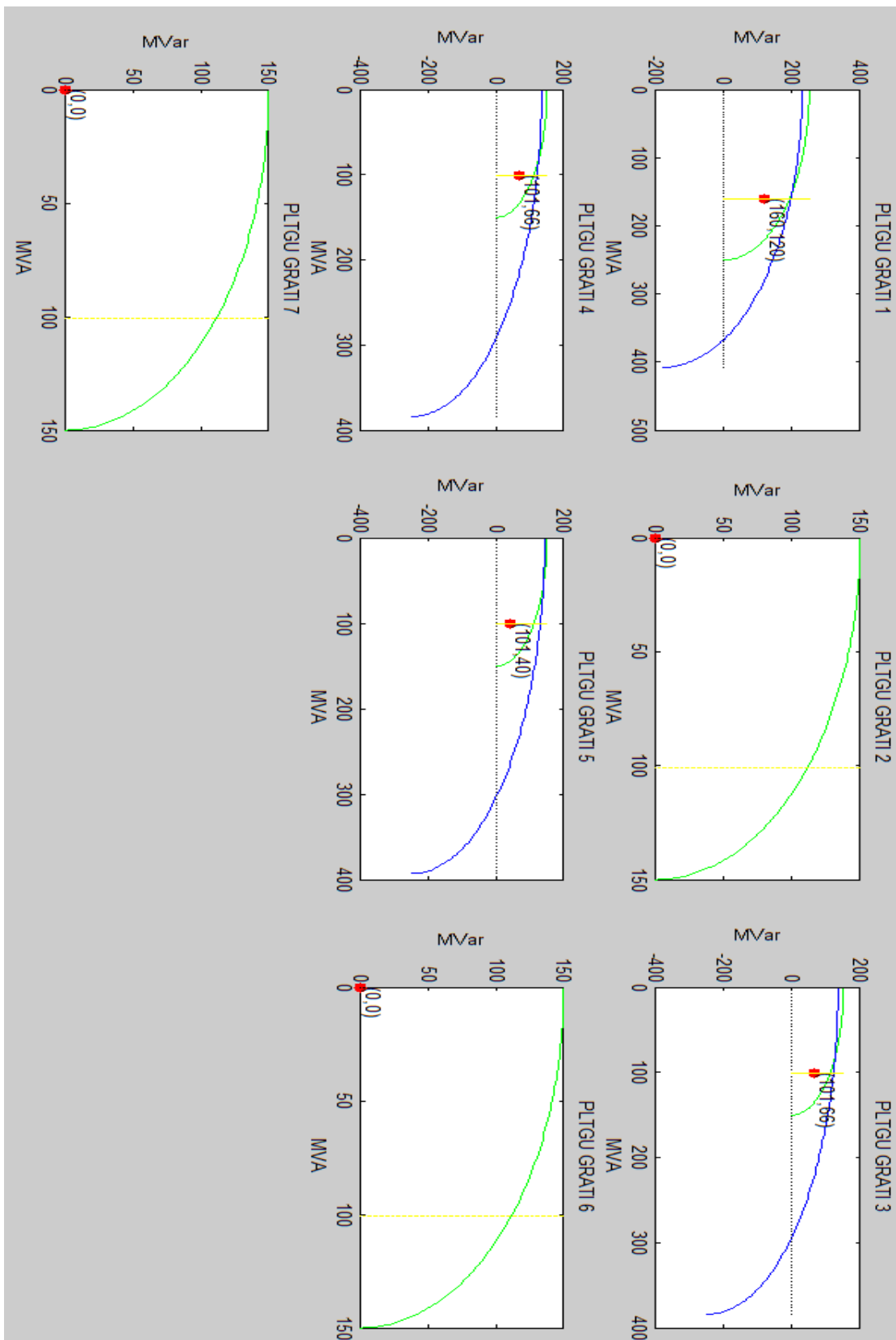
Gambar 6 kurva kapabilitas generator pada bus Saguling



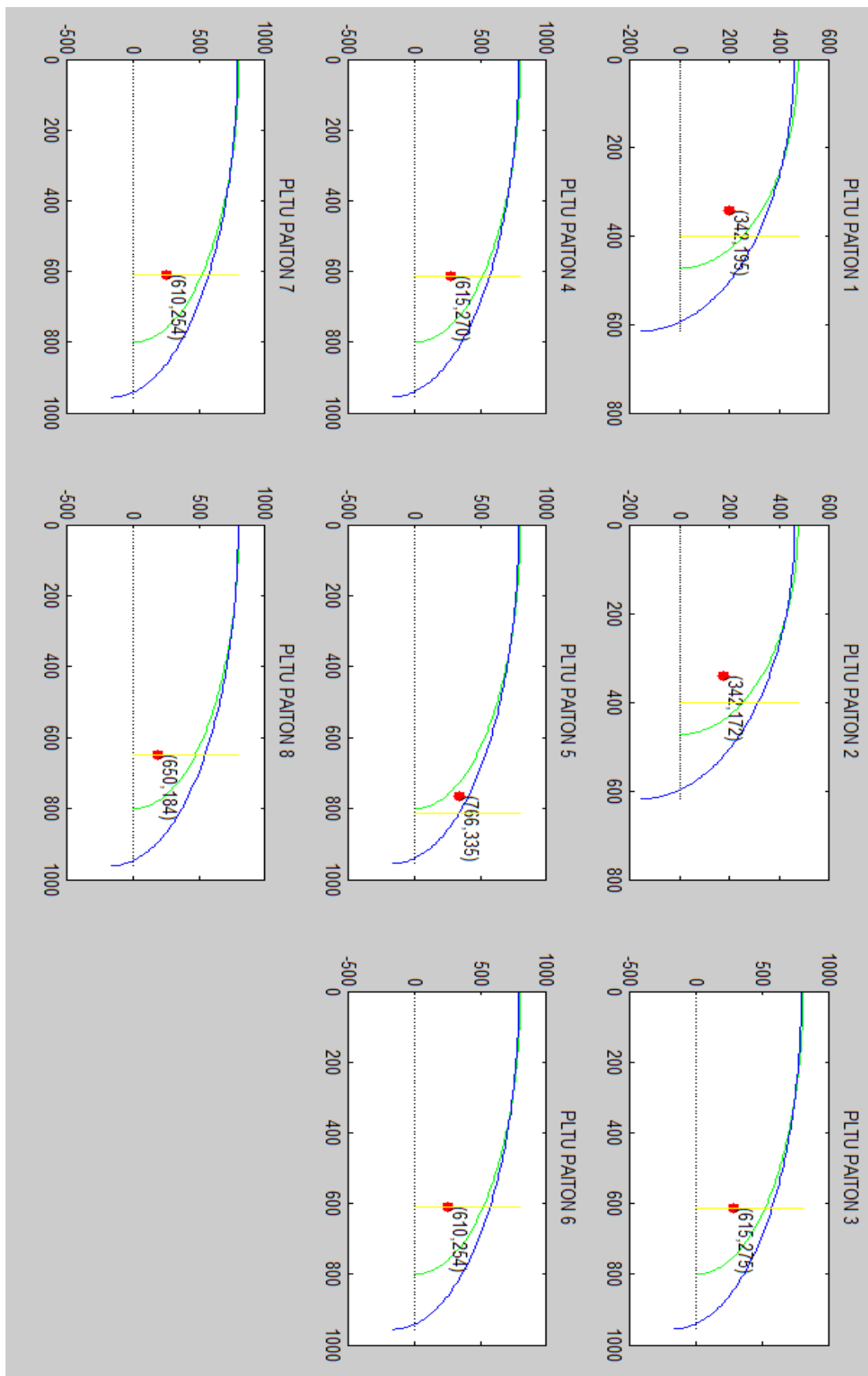
Gambar 7 kurva kapabilitas generator pada bus Tjati



Gambar 8 kurva kapabilitas generator pada bus Gresik



Gambar 9 kurva kapabilitas generator pada bus Grati



Gambar 10 kurva kapabilitas generator pada bus Paiton



Gambar 11 Tampilan Web

BUS No	BUS TYPE	Pd	Qd	Vm(pu)	Va(Degrees)	Base Kv	Vmax	Vmin
1	3	159	46	1.002525728	0	500	1.1	0.9
2	1	314	144	0.992357102	-0.64945781	500	1.1	0.9
3	1	596	163	0.902768237	-6.742268743	500	1.1	0.9
4	1	450	160	0.952287581	-3.37025865	500	1.1	0.9
5	1	649	236	0.918013084	-5.986997282	500	1.1	0.9
6	1	1118	382	0.9	-7.211832988	500	1.1	0.9
7	1	782	91	0.923499368	-5.269639629	500	1.1	0.9
8	1	461	318	0.918100573	-5.062265282	500	1.1	0.9
9	1	432	62	0.921146888	-5.190064061	500	1.1	0.9
10	2	0	0	0.922284726	-3.790384972	500	1.1	0.9
11	1	295	109	0.914996476	-0.29582227	500	1.1	0.9
12	1	911	509	0.90722996	-4.55659874	500	1.1	0.9

Gambar 11 Data hasil optimasi program yang ditampilkan pada web

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PLN. Data Statistik PLN 2012.
- [2] Aristyo M. F., Penangsang, O., Uman P, D. F., “*Online Simulator Untuk Operasi Optimum Sistem Tenaga Listrik (Dynamic Unit Commitment Economic Dispatch – Optimal Power Flow)*”, Tugas Akhir 2014.
- [3] Hartoyo, “Perbaikan Keandalan (N-1) Sistem Tenaga Listrik PLN Jawa Tengah Dan DIY”, 2008.
- [4] Penangsang O., “Analisis Aliran Daya”, ITS Press Surabaya, 2012.
- [5] Hadi S., “Power System Analysis 2nd Edition”, McGrawHill, Ch.1, 1999.
- [6] Wood, A. J., Wollenberg, B. F., “Power Generation operation and Control”, John Wiley & Sons Inc, America, 1996.
- [7] Wibowo, R. S., Nursidi, Satriyadi H, I. G. N., Uman P, D. F., Soeprijanto, A., Penangsang, O., “Dynamic DC Optimal Power Flow Using *Quadratic Programming*”, International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), 360-364, 2013
- [8] Zimmerman, R. D., Murillo-S’ anchez, C. E., Thomas, R. J., “Matpower: Steady – State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education,” , IEEE Transcation on Power system, Vol: 26, 12-19, 2011.
- [9] Chapman, Stephen J, “Electrical Machinery Fundamental”, 4rd Edition, Mc Graw – Hill Company, Singapore, 2005.
- [10] John J.Grainger and William D.Stevenson.Jr, (1994), Power Sistem Analysis, Mc Graw-Hill International Editions, 1994.

RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama Kharismawan Suryandriyo. Lahir di Surabaya pada 7 Desember 1993. Anak pertama dari dua bersaudara. Mempunyai sejarah pendidikan SD di SDN Kertajaya XIII/219 Surabaya, lalu melanjutkan ke SMP Negeri 1 Surabaya. Menempuh pendidikan SMA di SMA Negeri 5 Surabaya. Setelah lulus menyelesaikan pendidikannya di tingkat SMA pada tahun 2011, penulis meneruskan pendidikannya ke jenjang perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik Jurusan Teknik Elektro FTI ITS pada tahun 2013-2015.